

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**NYKYPÄIVÄN MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN SUORITUSKYKY**

Tutkielma

Kapteeni  
Teemu Lindqvist

Esiupseerikurssi 64  
Ilmasotalinja

Maaliskuu 2012

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi <b>Esiupseerikurssi 64</b>	Linja <b>Ilmasotalinja</b>
Tekijä <b>Kapteeni Teemu Lindqvist</b>	
Tutkielman nimi <b>NYKYPÄIVÄN MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN SUORITUSKYKY</b>	
Oppiaine johon työ liittyy Sotatekniikka	Säilytyspaikka MPKK:n kurssikirjasto
Aika Maaliskuu 2012	Tekstisivuja 30 Liitesivuja 6
<b>TIIVISTELMÄ</b> <p>Tutkimuksen päämääränä on vertailla nykyaikaisia operatiivisessa käytössä olevia MALE-luokan UAS järjestelmiä. UAS-järjestelmien kehittäminen on maailmalla vilkasta. Noin 800 erilaista järjestelmää micro-luokan lennokeista aina HALE-luokkaan (High Altitude, Long Endurance) on kehityksen tai valmistuksen alla. Silti vain muutamia järjestelmiä on saatu kehitettyä niin pitkälle, että ne ovat ns. myyntikunnossa. MALE-luokka (Medium Altitude, Long Endurance) edustaa kohtuullisen suuren kokoluokan miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä.</p> <p>Tutkimuksen pääkysymykseksi muotoutui: Millaisia suorituskykyjä nykyaikaisella operatiivisessa käytössä olevilla UAS-järjestelmillä on? Tutkimusongelmaa on lähdetty ratkaisemaan valitsemalla vertailtavat järjestelmät. Koska järjestelmiä on useita kymmeniä, niin valinnan kriteeriksi asetettiin seuraavat vaatimukset: Järjestelmän täytyy kuulua MALE-luokkaan ja järjestelmin täytyy olla operatiivisessa käytössä. Lisäksi järjestelmiä täytyy olla useiden kansallisuuksien käytössä. Tutkimukseen valittiin kaksi järjestelmää. 1) General Atomics:n Predator MQ-1B ja 2) Israel Aerospace Industriesin Heron-1 Machazt. Molempia järjestelmiä on käytetty ja käytetään maailmalla erilaisissa operaatioissa sekä operaattoreina ko. järjestelmillä on useita eri valtioita lisäksi ne kuuluvat MALE-luokkaan. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin valittujen järjestelmien hyötykuormat, koska ne eivät varsinaisesti edusta UAS-järjestelmän valmistajan tuotteita. Lisäksi hyötykuormia on olemassa niin paljon, että niistä kuuluisi tehdä oma tutkimuksensa.</p> <p>Järjestelmien suorituskykyjä vertailtiin saatavissa olevien tietojen perusteella. Suorituskykyjen vertailussa käytettiin analyyttiseen hierarkiaprosessiin tarkoitettua ohjelmistoa nimeltä Expert Choice. Tutkija määrittä vertailtavat suorituskyvyt. Painokertoimen suoritusky-</p>	

vyille määritti pieni asiantuntijaraati, joka koostui suomalaisista UAS-alan asiantuntijoista Tykistöprikaatista. Parivertailun tuloksena Heron-1 Machazt UAS-järjestelmä on suorituskykyisempi kuin Predator MQ-1B. Painokertoimissa arvostettiin eniten järjestelmien suoritusarvoja, joissa Heron-1 päihittää niukasti Predator MQ-1B:n lähes jokaisessa vertailtavassa suoritusarvossa.

#### **AVAINSANAT**

Miehittämätön ilma-alus (UAV ja UAS), lentotiedustelu, suorituskyky, MALE-luokka, parivertailu

## Lyhenneluettelo

Lyhenne	Lyhenteen merkitys	Suomennos
BDA	Battle Damage Assesment	Tuhovaikutuksen arviointi
FT	Feet	Jalka. Korkeuden (pituuden) mittayksikkö. Yksi jalka on noin 0,305 metriä
GCS	Ground Control Station	Maavalvonta-asema
GDT	Ground Data Terminal	Antenniyksikkö
H/O	Hand Over	UAV:n operointi etäasemalta
KT	Knot	Solmu. Nopeuden mittayksikkö. Yksi solmu on noin 1,852 km/h
LOS / BLOS	Line of Sight / Beyond Line of sight	Datalinkin suora yhteys / Datalinkin kantaman ulkopuolella
LRS	Launch and Recovery Site	Päätukikohta – lentoonlähtö ja laskeutuminen sekä huolto
MALE	Medium Altitude Long Endurance	Keskikorkeus, pitkä toiminta-aika
PBY	Pilot Bay	Heron järjestelmän termi ohjausaseman pilotin työasemalle.
PPO	Pilot and Payload operator	Predator järjestelmän termi ohjausaseman työasemalle
RSTA	Recoinnaisance, Surveillance and Target aquisition.	Tiedustelu, valvonta ja maalin paikantaminen.
SAR	Synthetic Aperture Radar.	Pilven läpi kuvaava tutka.
SATCOM	Satellite Communication	Sateelliittiyhteys
UAS	Unmanned Aerial System	Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Miehittämätön ilma-alus
UVS	Unmanned Vehicle System	Miehittämätön järjestelmä

# NYKYPÄIVÄN MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN SUORITUSKYKY

## Sisältö

Tutkimuksessa käytettävät lyhenteet

1.	JOHDANTO .....	1
1.1.	Tutkimuksen tausta .....	2
1.2.	Tutkimusongelmat ja tutkimuksen tavoitteet .....	3
1.3.	Tutkimusmenetelmät ja aiheen rajausta .....	3
1.4.	Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki .....	5
1.5.	Määritelmät ja lyhenteet.....	5
1.5.1.	Suorituskyky .....	6
1.5.2.	MALE-luokan määritelmä .....	6
1.5.3.	Hand Over –menetelmä .....	7
2.	TUTKIMUKSEEN VALITTUJEN UAS-JÄRJESTELMIEN ESITTELY .....	8
2.1.	General Atomics, Predator MQ-1B.....	8
2.1.1.	Maakomponentit – GCS ja GDT .....	11
2.2.	Israel Aerospace Industries, Heron-1 Machazt .....	13
2.2.1.	Maakomponentit – GCS ja GDT .....	16
3.	TUTKIMUKSEN UAV-JÄRJESTELMIEN VERTAILU .....	18
3.1.	Spesifikaatioiden vertailutaulukoita.....	18
3.2.	Maakomponenttien vertailu .....	20
3.3.	Suorituskykyjen vertailu .....	22
4.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
4.1.	Analyysi vertailuista järjestelmistä .....	26
4.2.	Järjestelmien sopivuus suomalaisiin olosuhteisiin.....	27
4.2.1.	Sääolosuhteet.....	28
4.3.	Loppusanat .....	29

# NYKYPÄIVÄN MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN SUORITUSKYKY

## 1. JOHDANTO

Miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät ja ilma-alukset ovat nykyisin oma ilmailun osa-alueensa, sanoo Suomen Puolustus- ja Ilmailuteollisuusyhdistyksen vuonna 2008 tekemä julkaisu ”Ilmailuteollisuuden ja lentotekniikan ohjelman (ILO) perusteet”. Tähän osa-alueeseen kuuluu niin siviili- kuin sotilasilmailukin. Monessa mielessä se on vielä pioneerivaiheessa ja maailmassa on menossa satoja mitä erilaisimpia innovatiivisia kehityshankkeita, joissa on mukana kaiken kokoisia yrityksiä ja organisaatioita. Miehittämättömät ilma-alusjärjestelmät (Unmanned Aircraft Systems, UAS) ja miehittämättömät ilma-alukset (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) kuuluvat voimakkaimmin kehittyvään ilmailun osa-alueeseen, jota kuvaa seuraavat tunnusluvut:

- Markkinoiden suuruus oli vuonna 2006 maailmanlaajuisesti 2,2 miljardia euroa ja vuonna 2015 sen arvioidaan olevan 6,6 miljardia euroa
- Vuoden 2000 ilmailun kokonaisinvestoinneista kohdistui miehittämättömiin ilma-alusjärjestelmiin 4 % ja vuonna 2010 sen uskotaan olevan 30 %.
- Euroopan markkinoiden arvioitiin olevan vuonna 2010 suuruudeltaan 100 miljoonaa euroa ja kasvavan 270 miljoonaan euroon vuoteen 2015 mennessä
- vuonna 2006 tuottivat 263 eri toimijaa 48 eri maassa yhteensä 789 eri UAS-tyyppiä

Toistaiseksi valtaosa, n. 61%, miehittämättömistä ilma-alusjärjestelmistä on sotilaskäytössä. Muu käyttö jakautuu siviilikäyttöön (8%), siviili-sotilas yhteiskäyttöön (15%) sekä tutkimuskäyttöön (5%). Kehitystyön alla on 34% ilma-alusjärjestelmistä. Edellä mainitut luvut kertovat selvästi, että miehittämätön ilmailuala on toistaiseksi sotilaspainotteinen. [7]

Sotilasoperaatioissa UAS-järjestelmiä on käytetty ainakin Irakin operaatio Desert Stromista lähtien. Tuolloin vuonna 1990 Yhdysvalloilla oli käytössään Pioneer-UAV järjestelmiä, joilla tuotettiin reaaliaikaista kuvaa maalinpaikantamista varten [10]. Lisäksi Pioneerit paikallistivat merimiinoja ja suorittivat tiedustelutehtäviä sekä pommitusten jälkeisiä tuho vaikutuksen arviointeja. Pioneerijärjestelmän kehitystyö aloitettiin jo 1980-luvulla.

UAS-järjestelmiä on käytetty myös siviilielämän tarpeisiin. Myynnissä on monenlaisia järjestelmiä, joita esitetään käytettäväksi esim. turvallisuuden valvontaan kaupunkien keskustoissa, sähkölinjojen tarkastukseen, valtioiden rajavalvontaan sekä hätätilateiden tilannekuvan luomiseen.

Miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä valmistetaan moniin tarpeisiin eikä tuotannolle ja innovatiivisuudelle näytä tulevan loppua. Mutta vaikka useat eri lähteet mainosta erilaisia järjestelmiä, monikaan niistä ei silti ole yltänyt operatiivisen käytön asteelle.

### 1.1. Tutkimuksen tausta

Sodankuva miehittämättömän ilmailun osalta on muuttunut viimeisen kymmenen vuoden aikana paljon. Lentotiedustelujärjestelmien pääasiallisina tehtävinä 1990-luvun alussa olivat tiedustelu, valvonta, maalinpaikannus ja tuhovaikutusten arviointi. Järjestelmät toimivat pitkälti datalinkin varassa, jolloin toimintaetäisyydet jäivät noin 200 kilometriin sään rajoittaessa suorituskykyä entisestään. Datalinkki vaatii nk. Line of Sight –yhteyden, jolloin UAV:n ja datalinkin antennin välillä ei saa olla esteitä. Lakikorkeuden maksimi kaksi- tai nelitahtisilla polttomoottoreilla rajoittui noin 15 000 jalkaan (n. 4 600 metriä), koska moottori ei saa lakikorkeuden jälkeen enää riittävästi happea toimiakseen. Potkuriturbiini- tai suihkumoottoreita ei 1990-luvulla juurikaan käytetty.

Nykyisin UAS-järjestelmien tehtävänä edellä mainittujen lisäksi on myös vaikuttaa kohteeseen aseella. Sääolosuhteet tai datalinkin toimintaetäisyyden rajoittuneisuus ei ole enää este lentotiedustelukuvan tuottamiselle, sillä valtaosassa uusimmista järjestelmistä hyötykuormana käytetään SAR-tutkia (Synthetic Aperture Radar), joilla kyetään tuottamaan kuvaa pilven ja muiden sääilmiöiden läpi. Hyötykuormien uusimpana kehityssuuntana SAR-tutkan lisäksi on kyky laservalaisuun esim. maalinpaikantamisessa tai –osoituksessa. Datalinkin aiheuttamia rajoitteita on lievennetty kehittämällä ohjausjärjestelmiä, jotka hyödyntävät satelliitteja releo-intiasemina (SATCOM – Satellite Communication). Toimintaetäisyydeksi voidaan ilmoittaa esim. 20 000 kilometriä. Lakikorkeudet ovat lähes viisinkertaistuneet noin 50 000 jalkaan (noin 15 kilometriin), jolloin korkeus on useimpien kaupallisten miehitettyjen lentokoneiden yläpuolella.

UAS-järjestelmien kehittyminen, verrattuna vaikkapa ilmaherruuden voittamiseen tarkoitettuihin torjuntahävittäjiin tai pommikoneisiin, on ollut erittäin nopeaa. Esimerkkinä olkoon se, että RQ-2 Pioneer UAS-järjestelmää käytettiin Persianlahden sodassa Yhdysvaltojen toimesta, nykyisin sitä ei käytetä enää operatiivisesti [22]. Vastaavasti ko. sodassa käytettyjä torjuntahävittäjiä ja pommittajia käytettiin vielä Libyan kriisissä vuonna 2011 (esim. F-16, F/A-18 ja A-10) [21].

Edellä mainitut erilaiset tekniset seikat sekä vuosikymmenten aikainen kehitys ja kehittymätömyys herättivät mielenkiinnon tämän tutkimuksen tekemiseen. Mitä ominaisuuksia nykyaisella uusimman teknologian omaavalla UAS-järjestelmällä on? Kuinka ominaisuudet poikkeavat eri järjestelmävalmistajien kesken?

## 1.2. Tutkimusongelmat ja tutkimuksen tavoitteet

Eri valmistajat ovat ILO-perusteiden [7] mukaisesti tuottaneet eri maissa lähes 800 erilaista miehittämätöntä ilma-alusjärjestelmää. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää keskeisimpien MALE-luokan (Medium Altitude Long Endurance) UAS-järjestelmien suorituskykyä. Tutkimuksen pääkysymykseksi nousee: millaisia suorituskykyä operatiivisessa käytössä olevilla MALE-luokan UAS-järjestelmillä on?

Tutkimuksen pääkysymykseen vastataan alakysymysten avulla. Luku 2 muodostaa vastauksen ensimmäiseen alakysymykseen siitä, millaisia MALE-luokan UAS-järjestelmiä tällä hetkellä maailmalla on kaupan. Luvussa esitellään perusteellisesti kaksi UAS-järjestelmää. Tutkimukseen valitut järjestelmät perustellaan luvussa 1.3 tutkimusmenetelmät ja aiheen raja-  
Luvussa 3 vastataan toiseen alakysymykseen eli miten valitut järjestelmät eroavat toisistaan.

## 1.3. Tutkimusmenetelmät ja aiheen raja- aus

Tutkimusmenetelmänä käytetään vertailevaa tutkimusta. Tässä menetelmässä tutkija valitsee kaksi tai useampia kohteita vertailtavaksi. Tutkijan tehtävä on päättää, mitkä ovat tutkittavien tapausten kiinnostavat piirteet, jotka taulukoidaan vertailtaviksi. Kiinnostavat ominaisuudet voivat kuitenkin vaihtua tutkimuksen edetessä. Identtisiä ominaisuuksia ei kannata taulukoida, koska kyseessä on vertaileva tutkimus [20]. Vertaileva tutkimus on helppo suunnitella, sillä siinä tutkija etsii ja tarkastelee aineiston yksilöitä tai tapauksia, jotka kuuluvat samaan lajiin mutta kuitenkin jollakin tavalla eroavat toisistaan. Vertailussa ensinnäkin tarkastellaan ja täsmennetään näitä eroavaisuuksia, ja lisäksi tutkitaan, onko tapausten välillä myös muita johdonmukaisesti samalla tavalla vaihtelevia eroja. Jos tällaisia löytyy, tutkija voi tämän pohjalta pohdiskella, mikä on eroavaisuuksien suhde toisiinsa. Ovatko ne esimerkiksi toistensa syitä tai seurauksia, taikka ovatko ne oireita syvällisemmästä luokkajaosta tapausten välillä? Tutkimuksessa voidaan vertailla identtisten tuotteiden käyttöä eri maissa. [20] Tämän vertailevan tutkimuksen alalaji on *toteava vertailu*. Pentti Routon laatimassa tutkimusmetodologian oppaassa Tuote ja tieto todetaan, [19] että: ”on myös tavallista, että työn alkuvaiheissa esiin saadaan vain deskriptiivisiä vastauksia kysymykseen *mitä* tai *millaisia* kohteet ovat, ja vasta tutkimuksen edistyessä päästään selittämään *miksi* kohteet ovat sellaisia kuin ovat”.



Tutkielmaan on valittu kaksi UAS-järjestelmää, joita käytetään maailmalla erilaisissa operaatioissa – toisin sanoen järjestelmiä, jotka ovat operatiivisessa käytössä. Järjestelmien valinta oli hankalaa, sillä kaksi valtiota ovat ylitse muiden UAS-järjestelmien kehittämisessä, valmistamisessa ja operatiivisessa käyttämisessä. Yhdysvaltalainen General Atomics on kehittänyt Predator-perheen UAS-järjestelmiä ja Israelilainen Israel Aerospace Industries on kehittänyt Heron-perheen järjestelmiä molemmat vuodesta 1994 lähtien. Useat valtiot ovat tilanneet juuri edellä mainittujen valmistajien tuotteita sekä kehittäneet Predatorista ja Heronista ns. lisenssiversioita. Esim. yhteiseurooppalaisia ja venäläisiä MALE-luokan projekteja on käynnissä useita, mutta niiden kehittämistyö on edelleen kesken (esim. EADS Barracuda ja DOZOR-perheen venäläiset MALE-järjestelmät) [24]. Israelilainen Elbit System valmistaa MALE-luokan UAS-järjestelmää nimeltä Hermes-900. Järjestelmä on ollut Israelin ilmavoimien käytössä vuodesta 2010. Elbit on tehnyt ensimmäiset kaupat ulkomaille vuonna 2011, kun Chilen ilmavoimat ostivat Hermes-900 järjestelmän [18]. Vuoden 2012 alussa toistaiseksi vahvistamaton Etelä-Amerikan valtio on tehnyt 50 miljoonan dollarin sopimuksen Hermes-900 ostmisesta. Kyseinen järjestelmä rajataan tutkimuksen ulkopuolelle, koska se ole operatiivisessa käytössä toistaiseksi muualla kuin Israelissa. Edellä olevan perusteella tässä tutkimuksessa vertaillaan kahta yleisimmin operatiivisissa tehtävissä käytettävää nykyaikaista järjestelmää, jotka ovat:

- 1) General Atomics, Predator MQ-1B
- 2) Israel Aerospace Industries, Heron-1 Machazt

General Atomics on myynyt Predatoreja useille käyttäjille ympäri maailman. Tunnetuimpia käyttäjiä ovat Yhdysvaltojen, Italian sekä Turkin ilmavoimat. Filippiinien National Security Advisor on rekisteröinyt kaksi Predator MQ-1B:tä siviili-ilmailurekisteriin. Eri versioita Predatorista on käytössä mm. Iso-Britannian kuninkaallisilla ilmavoimilla ja Yhdysvaltojen tullilla ja rajavallonnalla. Em. valtiot käyttävät Predatoreja kansainvälisissä operaatioissa sekä omien maiden rajavallonnassa. [26]. Predatoreilla on operoitu ja operoidaan ainakin Afganistanissa, Jemenissä, Libyassa, Balkanilla, Irakissa ja Pakistanissa [26].

Israel Aerospace Industrien on myynyt Heron-1 Machazt versioita mm. Australian ja Kanadan kuninkaallisille ilmavoimille, Brasilian ja Meksikon kansalliselle poliisille, Ecuadorin ja Yhdysvaltojen merivoimille, Intian ilma- ja merivoimille, Israelin puolustusvoimille sekä Singaporen, Turkin ja Saksan ilmavoimille, Yhdysvaltojen. Muutamien valtioiden poliisit käyttävät Heroneita mm. rikollisuuden torjuntaan. Lisäksi ainakin Saksan, Kanadan ja Australian joukot käyttävät Heronia Afganistanin operaatioissa [27].

## 1.4. Tärkeimmät lähteet ja lähdekritiikki

Uusimmista MALE-luokan UAS-järjestelmistä on olemassa hyvin vähän kirjallisuutta. Tärkeimpinä lähteinä tutkimuksessa käytetään ilmailun ja miehittämättömien välineiden aikakauslehtiä (mm. Shepard Unmanned Vehicle sekä Flight International), internetissä olevia tietokantapalveluja (esim. Jane's Defence) sekä UAV-alasta aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Internetistä löytyy muutamia tieteellisiä artikkeleita, joiden lähdesivustot ovat esim. Yhdysvaltojen puolustusministeriön, ulkomaisen teknisen yliopiston tai vastaavan organisaation julkaisemia.

Varsinkin internetistä löytyviin tietoihin on suhtauduttava kriittisesti. Tiedon ajantasaisuus käy ilmi yleensä internetartikkelista. Lisäksi löydetty tieto pyritään vahvistamaan vähintään toiselta internetsivustolta. Maanpuolustuskorkeakoulussa on tehty muutamia miehittämättömään ilmailuun liittyviä tutkimuksia. Majuri Pasi Saarikoski on tehnyt vuonna 2009 Yleisesikuntaupseerikurssin diplomityön Suomessa käytössä olevan Ranger – lentotiedustelujärjestelmän suorituskyvyn ylläpitämisestä. Kapteeniluutnantti Ossi Liimatainen vuonna 2010 on tutkinut Esiupseerikurssilla aihetta ”Ilmasta Suorituskykyä” – UAV-järjestelmä Merivoimien taisteluosaston suorituskyvyn kehittäjänä. Sotatieteen maisteriohjelmaan liittyen kadetti Jari Kananen on vuonna 2007 tehnyt Pro Gradu –tutkielman aiheesta Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaisissa sodissa. Kadetti Janne Keskinen on vuonna 2008 tehnyt Pro Gradu –tutkielman aiheesta Tulenjohtotehtävän suorittaminen ja edellytykset Ranger-lentotiedusteluyksiköllä. Lisäksi kadetti Juha Koski on vuonna 2005 tehnyt sotatieteen kandidaattiohjelmaan liittyen tutkielman sään vaikutuksista Ranger-lentotiedustelujärjestelmään. UAS-järjestelmien suorituskykyä käsitelleet tutkielmat ovat käyttökelpoisia lähteitä tähän työhön. Kadetti Juha Kosken työstä saa hyvää tietoa siitä, miten suomalaiset sääolosuhteet vaikuttavat UAS-järjestelmien käyttöön. Tutkija on lähettänyt aineiston keräämiseksi muutamia sähköpostikyselyitä Israel Aerospace Industriesille ja yksityisille henkilöille. Tehtailta ja yksityishenkilöiltä tulleet vastaukset ovat tutkijan hallussa.

## 1.5. Määritelmät ja lyhenteet

Tutkimuksessa käsitellään paljon miehittämättömään ilmailuun ja sen järjestelmiin kuuluvaa sanastoa lyhenteinä. Osa teknisistä lyhenteistä on avattu tekstiin mukaan. Keskeisimmät lyhenteet on lueteltu ja avattu sisällysluettelon yhteydessä olevaan taulukkoon. Eri lähteissä on vaihtelevia käytäntöjä suoritusarvojen, mittojen ja painojen mittayksiköiden käytössä. Tutkimuksessa käytetään eri mittayksiköitä ICAO (International Civil Aviation Organization) liitteen 5 mukaisesti [8].

### 1.5.1. Suorituskyky

**Suorituskyky**-termin määrittely UAS-järjestelmistä puhuttaessa on moninaista. Lentokoneen suorituskyky muodostuu sen suoritusarvoista, esim. suurin vaakalentonopeus, lakikorkeus ja pisin toimintamatka [23] – termeinä suoritusarvot suorituskyvyn osalta ovat yhtäläisiä UAV:n kohdalla. Koko UAS-järjestelmä sisältää suorituskyvyn osalta monta muutakin osa-aluetta. UAS-järjestelmien suorituskykyjä ovat edellä mainittujen lisäksi mm. UAV:n hyötykuorman kantokyky, maksimi toiminta-aika, koneiden kääntöaika maassa, omasuoja, sään vaikutus, henkilöstön koulutus ja riittävyys, infrastruktuuri jne. Järjestelmän **suorituskyky** jakautuu tekniseen laitteiden ja laitekokonaisuuksien suorituskykyyn sekä käyttäjähenkilöstön suorituskykyyn, eli siihen, kuinka paljon tehoa teknisistä laitteista ja järjestelmistä saadaan irti [11].

### 1.5.2. MALE-luokan määritelmä

Miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä on olemassa aina muutaman gramman painavista mikro-UAV:sta tuhansia kiloja painaviin lentokoneen kokoisiin UAV:ihin. Lisäksi järjestelmiä on valmisteilla maailmanlaajuisesti satoja. Valmistajat ovat määritelleet omia järjestelmiään erilaisiin kategorioihin, jotka eivät ole maailmanlaajuisesti tunnettuja. Esimerkiksi Yhdysvaltojen ilmavoimat, merijalkaväki ja armeija luokittelevat kaikki miehittämättömiä ilma-alusjärjestelmiä eri perusteilla. Australialaisen tutkimuksen mukaan järjestelmiä voidaan luokitella suorituskyvyn ja ominaisuuksien mukaan. Näin erilaisia luokituksia voi tulla esim. painon ja toiminta-ajan, painon ja lakikorkeuden tai vaikka painon ja toimintaetäisyyden mukaan [3].

Tässä tutkimuksessa käytetään UVS International -yhdistyksen tekemiä ja päättämiä määritelmiä. UVS International on kansainvälinen yhdistys, jonka nimi oli vuoteen 2004 saakka Euro UVS. Yhdistys edustaa miehittämättömien järjestelmien teollisuutta sekä käyttäjiä tavoitteenaan edistää miehittämättömien järjestelmien kansainvälistä käyttöönottoa ja hyödyntämistä. UVS International -yhdistykseen kuuluu 250 valmistajaa 30 eri valtiosta viidestä eri maanosasta [25]. MALE-määritelmä esitetään oheisessa taulukossa, josta käy ilmi myös esiteltävää luokkaa ympäröivät luokat.

	Kategoria	Maksimi lentoönlähtö- paino - kg	Maksimi lentokorkeus - ft	Toiminta- aika - h	Datalinkin kantama - km	Tehtävätyypit
<b>Taktisen tasan UAV</b>	Toiminta- aika (EN)	500–1000	15000–26000	12–24	> 500	BDA, RSTA, EW, comm relay, NBC sampling
	Keskikor- keus, pitkä toiminta- aika (MA- LE)	1000–1500	15000–26000	24–48	> 500	BDA, RSTA, EW, comm relay, NBC sampling
<b>Strategisen tasan UAV</b>	Korkealla lentävä, pitkä toi- minta-aika (HALE)	2500–12500	50000–66000	24–48	> 2000	BDA, RSTA, EW, comm relay, NBC sampling, airport security, boost phase intercept launch vehicle

Taulukko 1: MALE-luokittelu UVS Internationalin mukaan

MALE-luokan UAS-järjestelmillä on taulukon 1 mukaan kyky vähintään seuraavanlaisiin tehtäviin: tuho vaikutuksen arviointi, tiedustelu, valvonta ja maalin paikantaminen, elektronisen sodankäynnin häirintälähettimen käyttäminen kohdealueella sekä NBC näytteiden kerääminen. Tehtävien maksimi toimintaetäisyys on noin 500 km datalinkkiä käytettäessä. Toiminta-ajan maksimin on sijoitettava välille 24 – 48 h. Lakikorkeuden tulee olla 5 000 m – 8 000 m maksimi lentoönlähtöpainon ollessa 1000 – 1500 kg.

MALE-luokkaa HALE-luokkaan verrattaessa suurimmat erot tulevat maksimi lentoönlähtöpainossa, lakikorkeudessa ja datalinkin tuottamassa maksimi toimintaetäisyydessä.

### 1.5.3. Hand Over –menetelmä

UAS-järjestelmien toimintaetäisyyttä voidaan kasvattaa huomattavasti hajauttamalla järjestelmä, mikäli käytössä on kaksi tai useampia maajärjestelmiä. Toimintaetäisyyttä ja -aikaa voidaan lisätä käyttämällä kahta maa-asemaa releoiden – tätä menetelmää kutsutaan Hand Overiksi. Hand Over-menetelmällä toiminta-aikaa saadaan kasvatettua, koska tehtävän LRS eli päätukikohta voi olla sijoitettuna lähelle toiminta-aluetta. HO-menetelmässä LRS:n GCS1:llä eli maavalvonta-asema 1:llä tehdään lentoönlähtö ja siirtyminen sovittuun pisteeseen. GCS2 voi olla esim. Predatorin tapauksessa Kaliforniassa. Varsinainen ohjausyhteyden luovutus ja vastaanotto eli Hand Over tehdään sovitussa pisteessä, sovitulla hetkellä ja sovitulla menetelmällä (esim. puheella tai sovitulla merkinannolla). GCS1:stä sammutetaan komentavat linkkiyhteydet ja GCS2:ssa ne vastaavasti laitetaan päälle. Kotiinpaluu tehdään päinvastaisesti.

## 2. TUTKIMUKSEEN VALITTUJEN UAS-JÄRJESTELMIEN ESITELY

Tässä luvussa esitellään tutkimukseen valitut järjestelmät. Järjestelmät valikoituivat johdanto-luvussa esitetyllä perusteella. Tiedot operatiivisessa käytössä olevista järjestelmistä on kerätty muutamasta eri lähteestä, joista tärkein on UAS Yearbook (2010-2011). Em. lähteessä on lueteltu yli 1200 UAS-termin alle sijoittuvaa järjestelmää statuksineen eli onko järjestelmä kehitteillä, palveluksessa, demo-vaiheessa jne.

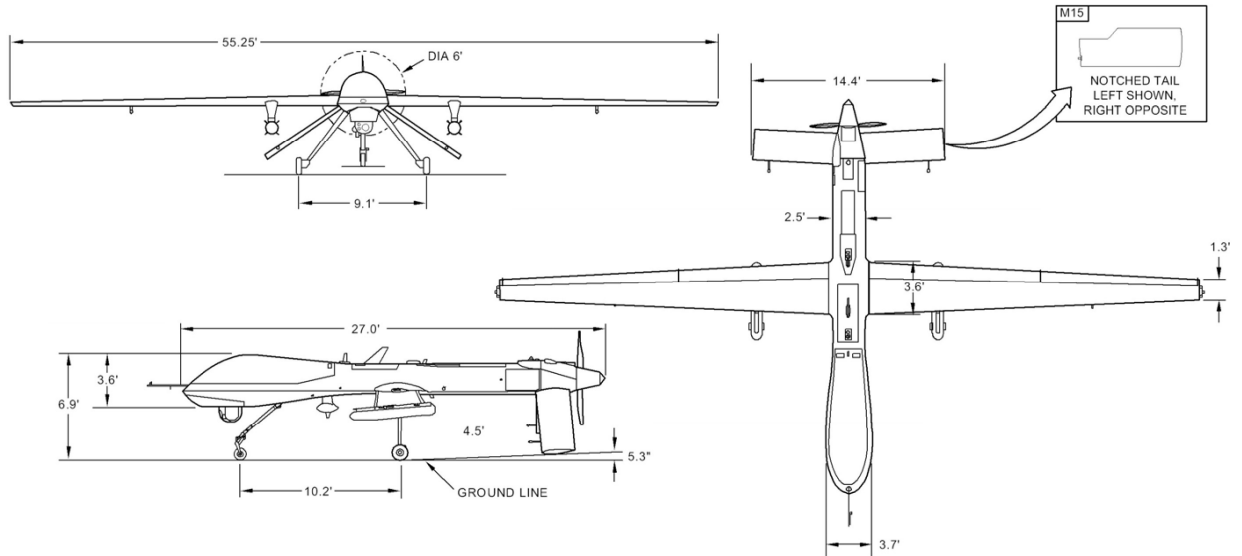
### 2.1.General Atomics, Predator MQ-1B

Predator (”saalistaja”) on tuttu nimi useimmalle nykyaikaiseen taistelukentän kuvaan tutustuneelle. Tutkielmaan valittua Predator MQ-1B mallia edelsivät vuodesta 1994 saakka RQ-1 mallimerkinnällä olevat Predatorit. Predator RQ-1:n ensilento tapahtui vuonna 1994 ja varsinainen käyttöönotto operatiivisesti vuonna 1995 Albaniassa. Perusteet Predatorin suunnittelulle loi Yhdysvaltain puolustusministeriön alainen Advanced Concept Technology Demonstration (ACTD) ja tuotantosopimuksen sai Kalifornialainen yhtiö General Atomics [6].

Yhdysvaltalaisen UAS-järjestelmien mallimerkinnät on päätetty puolustusministeriön toimesta. Mallimerkinnät muodostuvat siten, että kirjain ”R” ilmaisee sanaa *reconnaissance* eli tiedustelu ja kirjain ”Q” ilmaisee, että kyseessä on *miehittämätön ilma-alus* [12]. Numero 1 kertoo, että kyseessä miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien ensimmäinen järjestelmä. Mallimerkintä ”M” tarkoittaa termiä *multi-role* tai *multi-mission*. Tämä taas tarkoittaa, että MQ –merkinnän omaavilla UAS-järjestelmillä on kyky aseiden käyttöön ilmasta maahan. Taulukossa 2 esitetään Predator MQ-1B:n tekniset tiedot:

Mitat:		Suoritusarvoja:	
Siipien kärkiväli	16,8 m	Maksimi lentonopeus	117 kt
Pituus	8,22 m	Matkalentonopeus	70 - 90 kt
Korkeus	2,1 m	Sakkausnopeus	54 kt
Tyhjäpaino	512 kg	Maksimi toiminta-aika	~24 h
Maksimi lentoonlätöpaino	1020 kg	Maksimi kantama	150 nm / BLOS
Moottori	Rotax 914 (115 hp)	Lakikorkeus	25 000 ft
Polttoainekapasiteetti	270 kg / 379 litraa	Kiitotievaatimukset	
		- laskeutuminen	1500 m x 23 m
		- lentoonlento	267 m
Polttoaine	AVGAS (100LL)	Hinta:	
Hyötykuorma (sis / ulk)	204 kg / 136 kg	UAV / UAS (-09)	3 M\$ / 20 M\$

Taulukko 2: Predator MQ-1B:n yleiset ominaisuudet [28][5][26][17]



Kuva 1: Predator MQ-1B [26]

Predator järjestelmä sisältää normaalisti neljä ilma-alusta mukaan lukien sensorit ja aseet, maa-aseman, satelliittilinkin ja muun käyttöön tarvittavan kaluston. Koko järjestelmä on liikuteltavissa viidellä C-130 Hercules-kuljetuskoneella. Järjestelmä kytetään saattamaan käyttö-kuntoon noin kuudessa tunnissa lentokoneesta purkamisen jälkeen [10]. Järjestelmässä toimii noin 55 henkilöä eri tehtävissä kuten ilma-aluksen operaattoreina, sensoreiden käyttäjinä, informaation tulkitsijoina sekä huolto- ja ylläpitotehtävissä. Järjestelmää operoi GCS:stä yksi lentäjä, yksi sensorioperaattori sekä tehtävän johtaja. Ohjaamiseen on käytössä joko LOS datalinkki tai BLOS satelliittidatalinkki (PPSL – Predator Primary Satellite Link). C-taajuusalueen LOS datalinkkiä käytettäessä toimintaetäisyys rajoittuu noin 150 nm:iin. Käytettäessä satelliittiohjausyhteyttä  $K_u$  -tutkataajuusalueen PPSL:llä järjestelmän toimintaetäisyys on käytännössä rajaton, rajoittavaksi seikaksi muodostuu maksimitoiminta-aika. Lähteet ilmoittavat silti maksimitoimintaetäisyydeksi noin 675 nm [17].

Predator MQ-1B on siis paranneltu versio tyyppimerkinnästä MQ-1A. Suurimpia muutoksia MQ-1B versiossa ovat siipien jäänestojärjestelmän lisääminen, siiven kärkivälin kasvattaminen, pilotin hätätilanelogiikkaan kuuluvan päivä- ja infrapunakameran lisääminen koneen keulaan, modifioitu V-peräsin, MTS-A-järjestelmän (Multispectral Targeting System) integrointi A/G-aseilla ampumista varten sekä päivitetty avioniikka, vastatoiminta- ja datalinkkiteknikka. Avioniikkauudistuksilla saatiin mm. kevennettyä koneen tyhjääpainoa, jolloin hyötykuormalle jää enemmän tilaa. Esimerkkeinä avioniikkauudistuksesta on transponderin vaihto nykyaikaisempaan, pienempään ja kevyempään - Raytheonin AN/APX-100 (V) IFF MARK XII (moodi 4). Sen lisäksi, että transponderi kertoo ilmatilaa hallinnoiville UAV:n sijainnin ja korkeuden, se myös vahvistaa omille joukoille onko kyseessä oma vai vihollisen ilma-alus (IFF = Identify Friend or Foe). Ilma-alukseen on sijoitettu Rockwell Collinsin ilmailuradio AN/ARC-210, jolla pilotti voi liikennöidä sen lennonjohtoelimen kanssa, jonka alueella UAV lentää. Radion tekniikka mahdollistaa puhe- ja dataliikenteen satelliittien välityksellä [17]. Predatorin paikkatiedon tuottaa Northrop Grummanin LG100 GPS/INS [16] (Global Positioning System / Inertial Navigation System) järjestelmä. GPS tuottaa paikkatiedon satelliittien avulla. Inertiapaikannuksessa laite saa tarkan paikkatiedon GPS:ltä, jonka suhteen kiihtyvyyssanturit mittaavat liikettä. Inertiapaikannuksen tarkkuus heikkenee 0,6 nm/h GPS avusteisesti ja 120 m/20 min, mikäli GPS ei ole käytössä. Pääpaikannusvälineenä INS:ä ei voida käyttää. Predatorin tapauksessa kyse on paikannuksen varajärjestelmästä, jolle GPS tuottaa koko ajan tarkan paikan.

Multi-role ominaisuuden ansiosta Predator MQ-1B:ssä voidaan kuljettaa asekuormana kahta AGM-114 Hellfire panssarintorjuntaohjusta. MTS-A-järjestelmä sisältää kyvyn käyttää yhtä aikaa sekä lämpökameraa ja normaalia TV-kameraa, laserosoitinta, laseretäisyysmittaria että panssarintorjuntaohjuksen ohjausta. UAV:ssa on lisäksi radiokalustoa kommunikointia ja tunnistautumista varten. Ongelma MTS-A:ssa on sen suuri koko, jolloin yhtä aikaa UAV:n hyötykuormana ei voi olla SAR-tutka.

Predator MQ-1B lentoonlähde ja laskeutuminen tehdään GCS:stä käsin ohjaamalla. Moottorin käynnistämisen jälkeen pilotti rullaa UAV:n kiitotielle ja luvan saatuaan suorittaa lentoonlähden. Saavutettuaan tietyn korkeuden pilotti kytkee autopilotin päälle. Tämän jälkeen UAV:ta voidaan lentää mm. ohjelmoituja reittejä pitkin. Laskeutuminen tehdään siten, että pilotti ottaa UAV:n käsiohjaukseen tietyssä manuaalien määrittämässä korkeudessa ja suorittaa laskeutumisen. Edellä mainittujen proseduurien vuoksi UAV:ssa on keulakamera (Pilot Window), jonka avulla pilotti näkee ”ulos”. Predatorin lentoonlähde ja laskeutumiseen liittyvät tuulirajat ovat edestä 30 kt ja sivulta 16 kt. Pilvikorkeuden on oltava 800 ft tai parempi sekä näkyyden 3 km tai parempi. UAV:n laskeutumisen tekee hankalaksi se, että siinä ei ole automaattista laskeutumisjärjestelmää, joten pilotti tekee lentoonlähden ja laskeutumisen keulakameran näytön ja mittariston avulla. Erityisen ongelmallista Predatorilla laskeutumisessa on negatiivisen V-korkeusvakaajan sijainti. Laskeutumiseen liittyvässä loivennuksessa V-peräsin on koskettanut kiitotietä usein kohtalokkain seurauksin.

Hand Over –menetelmän käyttö Predatorilla on mahdollista ainakin SATCOM yhteyden kautta. Yhdysvalloissa Predatorin operoinnissa käytetään termejä CONUS (Contiguous United States) ja OCONUS (Outside Contiguous United States) [2]. CONUS operaatiot suoritetaan Yhdysvaltojen rajojen sisäpuolella, OCONUS operaatioissa taas Predatorin tapauksessa lentoonlähde suoritetaan kohdealueella Yhdysvaltojen rajojen ulkopuolella ja Hand Overin jälkeen tehtävä toteutetaan Yhdysvalloista.

### 2.1.1. Maakomponentit – GCS ja GDT

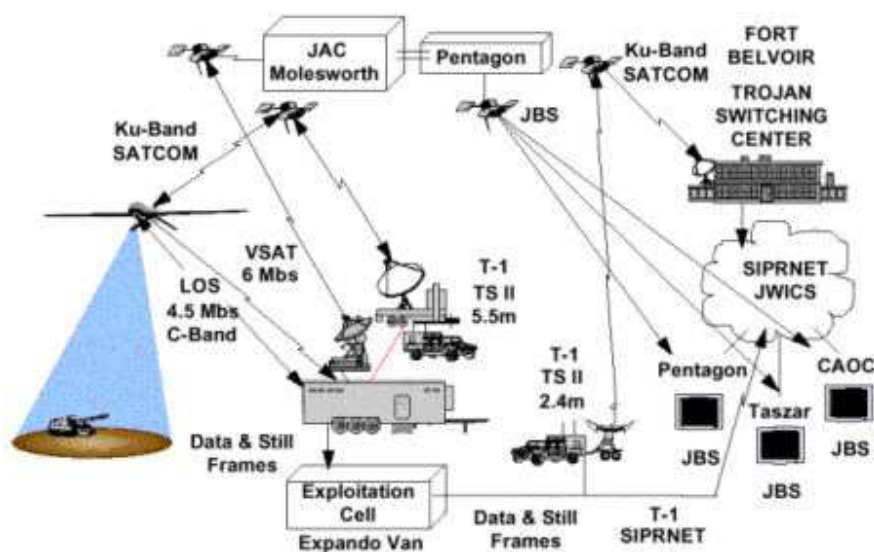
Predatorin ohjausasema (GCS) on sijoitettu vedettävälle trailerille. Trailerin liikuttaminen kuljetuskoneilla on mahdollista, joskin kontin koosta johtuen liikuttelu vaatii erityistä käsittelyä. GCS voidaan sähköistää verkkosähköllä tai järjestelmän omilla 35 kw generaattoreilla. GCS:ssä on PPO (Pilot and Payload Operator) työasemat pilotille ja hyötykuorman käyttäjälle. SAR-tutkalle on oma työasema, mikäli SAR-tutka on UAV:ssa hyötykuormana, jolloin tehtävän suunnittelu ja johtaminen tehdään DEMPC (Data Exploitation and Mission Planning Console) -työasemalta. Viestiyhteydet hoidetaan puhelimilla sekä HF/UHF/VHF –radioilla. Sisäisten tietoverkkojen avulla GCS:stä saadaan yhteys minne vain käyttämällä Troijan Spirit II satelliittiyhteystermiinaalia.





Kuva 2: Predator MQ-1B GCS pilotin ja sensoriupseerin työasemat [1]

Järjestelmän antenniyksikkö on L3 Communicationin valmistama The Predator Reconnaissance Communications System (w. ATC radio). GDT:n yksityiskohtaiset speksit on esitetty liitteessä 1.



Kuva 3: Predator MQ-1B UAS – tiedon välittymisen kokonaisuus [14]

Kuvassa 3 esitetään, kuinka reaaliaikainen kuva välittyy UAV:ta ohjaavalta GCS:ltä eri data-linkkien kautta pitkin maailmaa. Maassa olevista satelliittiterminaaleista toinen (kuvan T-1 TSII, halkaisija 5,5 m) välittää ohjausaseman komennot UAV:lle ja VSAT (halkaisija 2,4 m) jakaa tiedon johtamisjärjestelmiin. Kuvassa on Predatorin tiedonvälityksen järjestely Bosnias- ta vuonna 1996. Joint Analysis Center (JAC) on Yhdysvaltojen kuvantulkintakeskus sijoitet- tuna Iso-Britannian Molesworthiin. Molesworthista on yhteys Joint Broadcast Systemin satel- liitin välityksellä Pentagonin alaisiin osastoihin mm. CAOCiin (Combined Air Operations Center) ja Taszariin Unkariin, jossa toimi Predator tukikohta.

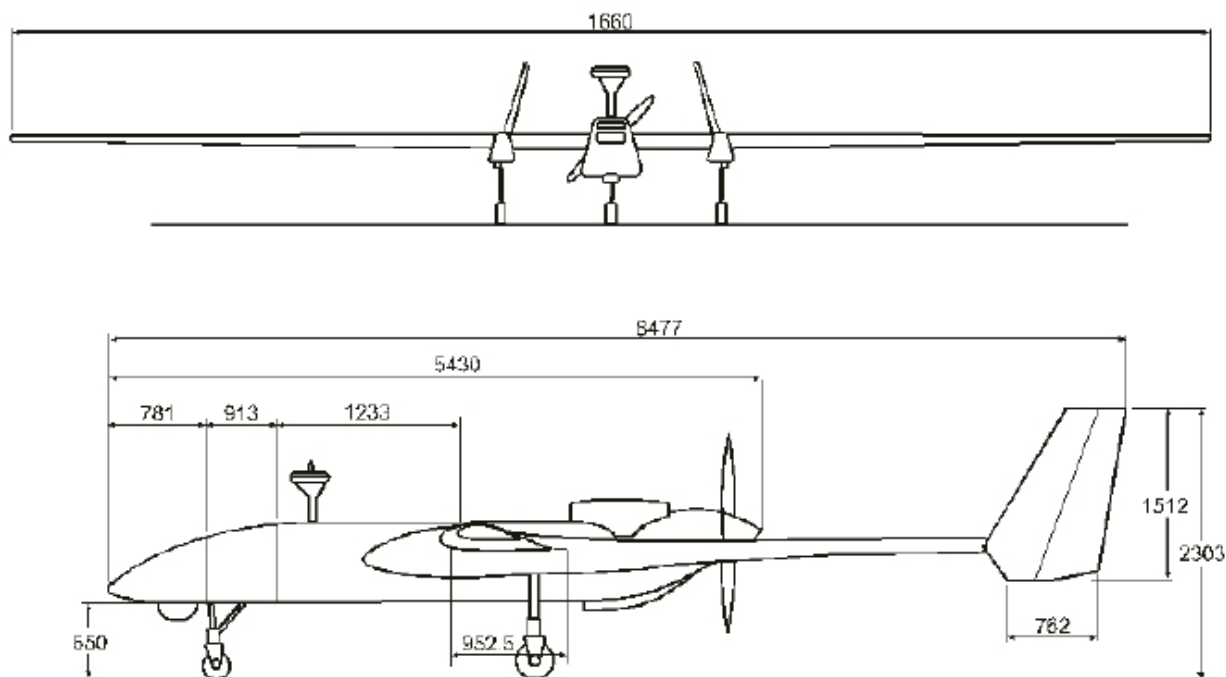
## 2.2. Israel Aerospace Industries, Heron-1 Machatz

Heron-1:n on kehittänyt ja valmistanut Israel Aerospace Industriesin Malat Division. Heronin (”harmaahaikara”) ensilento on tehty syksyllä 1994. Koelentovaiheessa Heronilla saavutettiin 29500 jalan korkeus ja yli 51 tunnin toiminta-aika noin 600 kg:n hyötykuormalla. Heronin kehitysvaiheista ei ole juurikaan tietoa saatavilla. Heron-1 Machatz tunnetaan myös myyntinimellään ”Shoval”. Heron perheessä on myös uudempi versio nimeltään Heron TP – se poikkeaa suorituskyyvyltään merkittävästi Heron-1 järjestelmästä alkaen ollen pikemminkin HALE-luokan UAS-järjestelmä. Heron-1 on suunniteltu monikäyttöiseksi miehittämättömäksi järjestelmäksi, jolla kyetään strategiseen tiedusteluun, valvontaan ja maalinpaikantamiseen. Järjestelmä ei ole ns. *multi-role*, joten sillä ei voida toistaiseksi kantaa asekuormaa.

Taulukossa 3 esitetään Heron-1:n teknisen tiedot.

<b>Mitat:</b>		<b>Suoritusarvoja:</b>	
Siipien kärkiväli	16,6 m	Maksimi lentonopeus	120 kt
Pituus	8,5 m	Matkalentonopeus	62 - 90 kt
Korkeus	2,3 m	Sakkausnopeus	59 kt
Tyhjäpaino	700 kg	Maksimi toiminta-aika	50 h
Maksimi lentoonlätöpaino	1250 kg	Maksimi kantama	135 nm / BLOS
Moottori	ROTAX 914 (115 hp)	Lakikorkeus	30 000 ft
Polttoainekapasiteetti	400 kg = 560 l	Kiitotievaatimukset	
Polttoaine	AVGAS (100LL)	- laskeutuminen	1200 m x 30 m
		- lentoonlätö	350 m
Hyötykuorma	250 kg	<b>Hinta:</b>	-

Taulukko 3: Heron-1 yleiset ominaisuudet [4]



Kuva 4: Heron-1 Machatz [4]

Heron järjestelmä sisältää 3-4 kpl miehittämättömiä ilma-aluksia, maa-aseman, tilatun määrän sensoreita, satelliittilinkin sekä huoltojärjestelmät. Järjestelmä on pakattavissa merikontteihin ja siten helpohkosti liikuteltavissa kuorma-autoilla, lentokoneilla ja laivoilla. Järjestelmän pystyttäminen nollatilanteesta lentotehtävää varten vie noin 6-7 tuntia. Järjestelmää operoidaan GCS:stä käsin. Miehistöön kuuluvat pilotti, hyötykuorman käyttäjä ja tehtävän johtaja. GCS on kytketty valokuiduilla kiinni antenniyksikköön (GDT), jolla operoidaan LOS-datalinkkiä. Kantama LOS-datalinkillä on noin 135 nm. Maksimikantamalla UAV:n pitää olla myös lähellä maksimi lentokorkeutta, joten LOS-kantaman maksimilukemiin on suhtauduttava kriittisesti. Heron järjestelmällä on käytössä SATCOM (malli ELK 1894) yhteys BLOS tehtäviä varten. Tällöin maksimikantaman rajoittavina tekijöinä ovat matkalentonopeus ja toiminta-aika. Koneessa olevaa SATCOM järjestelmään kutsutaan Airborne SATCOM Terminaliksi (AST). AST on helposti irrotettavissa, mikäli Heron-1:llä halutaan lentää ilman SATCOM yhteyttä. Tämä toimenpide vähentää koneen lentoonlähtöpainoa noin 16 kg. Heron järjestelmällä on mahdollista muodostaa Hand-Over menetelmä toimitaetäisyyden kasvattamiseksi myös muutamalla muulla tavalla em. SATCOMin lisäksi. Järjestelmän Hand Over voidaan tehdä pelkällä datalinkillä luvun 1.5.3. määritelmän mukaisesti. Lisäksi toimintaetäisyyttä voidaan kasvattaa laittamalla korkealle ilmaan nk. rele-UAV. Tällöin toinen LOS alueella oleva UAV voi välittää datalinkin liikenteen LOS-kantaman ulkopuolella olevalle UAV:lle.

Heronissa ei ole jäänestojärjestelmää, mutta jäätävien olosuhteiden varoitusjärjestelmä järjestelmässä on. Haastattelutiedon mukaan Heron kuitenkin sietää kohtuullisesti jäätäviä olosuhteita [4]. Heronin kerrotaan muutoinkin sietävän useita erilaisia sääolosuhteita hyvin. Heronin tuulikomponentit ovat edestä 25 kt, sivusta 20 kt, takaa 10 kt ja tuulenpuuskat maksimissaan 10 kt.

Heronin sisältämästä avioniikasta on tietoa saatavilla varsin niukasti. Hyötykuormavaihtoehtoja on useita: päivä- ja lämpökamera (MOSP – Multi-Purpose Optical Stabilized Payload) tai triplasensori, jossa on edellisten lisäksi laserosoitin (LD – Laser Designator), SAR-tutka, MPR (Maritime Patrol Radar), COMINT ja ESM (Electronic Support Measures). Heronin pääpaikannusmenetelmä on DGPS eli differentiaalinen GPS. DGPS-järjestelmässä pienennetään paikanmäärityksen virheitä differentiaalikorjauksen avulla, jolloin paikannustarkkuus on alle metrin. Koneessa on toisiotutka eli transponderi sekä integroitu ilmailuradio, kuten Predatorissakin.

Heronin lentoonlähde ja laskeutuminen ovat täysin automaattisia ATOL-järjestelmän (Automatic Takeoff and Land) ansioista. Lentoonlähdessä pilotti rullaa koneen kiitotielle käyttäen työasemansa joystickia ja kytkee järjestelmästä *departure*-lento-ohjausmenetelmän käyttöön, jolloin UAV suorittaa määrätyn reitin mukaisesti nousun ja siirtymisen halutulle alueelle. Lento-ohjausmenetelmiä on käytössä useita. Koneita voidaan ohjata *knobs*-menetelmällä antamalla sille korkeus-, nopeus- ja ohjaussuuntakäskyjä tietokoneen näytön vetopalkeista. Toinen vaihtoehto on ohjelmoida haluttu reitti reittipisteillä – *mission route*, jolloin jokaiselle reittipisteelle voidaan halutessa ohjelmoida eri toimintoja esim. kameran katselupiste, korkeuden tai nopeuden muutokset, koneen datalinkin päällä olo jne. Tämä taas mahdollistaa sen, että konetta voidaan lentää passiivisena – eli UAV ei lähetä signaaleja millään taajuudella. Hätätoimenpiteitä varten on olemassa mahdollisuus ohjata UAV:ta radio-ohjaimella manuaalisesti. Laskeutuminenkin voidaan tehdä monella tavalla. Ensisijainen menetelmä Heronissa on DGPS-avusteinen laskeutuminen. Varamenetelmänä on käytössä OPATS (Object Position and Tracking System)-lasertutka. Tässä menetelmässä UAV ohjataan noin 6-8 km päähän loppulähestymislinjalle ”ikkunaan”, josta lasersäde ottaa koneen ohjaukseen laskeutumiseen saakka. Kolmas vaihtoehto laskeutumiselle on EP:n (External Pilot) käyttö, jolloin koneen laskeutumisen tekee ulkona kiitotien vieressä seisova ulkopilotti [4].



Kuva 5: Heron-1 ulkomuodon muutokset eri hyötykuormakokoonpanoissa [4]

### 2.2.1. Maakomponentit – GCS ja GDT

IAI:n UAS-järjestelmien myyntikonsepti on rakennettu siten, että IAI pystyy myymään eri järjestelmiä moduuleina. IAI valmistaa esimerkiksi kahta erilaista GSC tyyppiä, AGCS (Advanced Ground Control Station) sekä IUCS (Innovative Unified Control System). Jälkimmäinen ratkaisu on tarkoitettu Heron-1 sekä Heron TP järjestelmille. AGCS taas käy muillekin IAI:n UAS-järjestelmille kuten Hunter, Ranger, Searcher Mk I, Searcher Mk II, Heron, Heron TP ja I-View pois lukien mini-UAS:t.

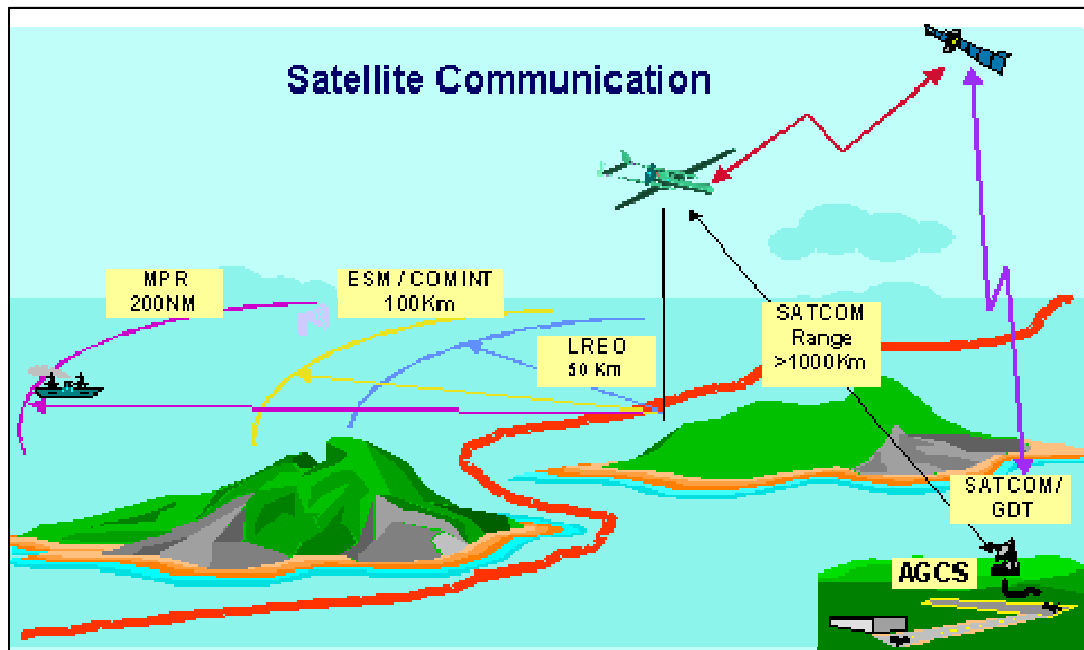
AGCS on ns. merikonttiin rakennettu ohjausasema, jossa on kolme konsolia järjestelmän ope-  
 rointia varten. AGCS:ää käytettäessä minimimiehistökokoonpanoon kuuluvat pilotti, hyöty-  
 kuorman käyttäjä sekä tehtävänjohtaja. Konsolit on nimetty siten, että pilotin työasema va-  
 semmalla on OPBY L ja sensoriupseeri työasema oikealla on OPBY R (Observer/Pilot Bay  
 Left). Keskellä on UBY (User Bay) ja sivuseinällä on kaksi työasemaa UBY-2 ja CEBY  
 (Commandet and Equipment Bay). UBY:tä voi käyttää esimerkiksi kuvantulkitsija tai tehtä-  
 vänjohtaja. CEBY on rakennettu varsinaisesti tehtävänjohtajaa varten ja siitä on voidaan ra-  
 kentaa tarvittavat yhteydet johtamisjärjestelmiin.



Kuva 6: IAI AGCS konsolit [9]

AGCS:stä on valokuituyhteys RCT:hen (malli ELK-1861) sekä SATCOM-antenniin. AGCS on helposti laitettavissa kuljetuskuntoon ja se sopii mm. C130 Hercules kuljetuskoneen sisälle.

GDT:n yksityiskohtaiset speksit on kerrottu liitteessä 2. Operointiyhteyksien radiotaajuudet ovat C- ja K $\mu$  -alueilla. Heronin SATCOM järjestelmään on saatavilla pysyvä tai liikkuva SATCOM asema. Liikkuvan SATCOM aseman eli Mobile Ground SATCOM (MGST) antennin halkaisija on 2,4 metriä ja pysyvän eli Permanent Ground SATCOM (PGST) antennin halkaisija on peräti 9,3 metriä. Heronin SATCOM-antennin käyttöperiaate esitetään alla olevassa kuvassa.



Kuva 7: Heron-1 järjestelmän SATCOM periaatteet

### 3. TUTKIMUKSEN UAV-JÄRJESTELMIEN VERTAILU

Tässä luvussa vertaillaan valittuja järjestelmiä – luku tuottaa vastauksen siihen, että miten tutkimukseen valitut järjestelmät eroavat toisistaan. Luvun suorituskyykyjen vertailuosuus tehdään käyttämällä analyttisen hierarkiaprosessin periaatteita noudattavaa Expert Choice – ohjelmistoa. Tärkeimmille suorituskyykyille on luotu painokertoimia, joiden avulla Expert Choice muodostaa parivertailulle tulokset. Painokertoimet määritettiin pienen asiantuntijaraadin toimesta. Raatiin kuuluu jäseniä Tykistöprikaatin Tiedustelupatteriston TVM-osastolta (Tiedustelun-, valvonnan- ja maalittamisen tuki) sekä saman joukkoyksikön Lentotiedustelupatterista. Tykistöprikaatiin on sijoitettuna puolustusvoimien ainoa miehittämätön lentotiedustelujärjestelmä – Ranger UAS.

#### 3.1. Spesifikaatioiden vertailutaulukoita

Tässä alaluvussa vertaillaan ja todetaan koneiden yleisiä mittoja, painoja, nopeuksia sekä suorituskyykyjen ominaisuuksia.

	MQ-1B	Heron-1
<b>Mitat ja painot</b>		
Siipien kärkiväli	16,8 m	16,6 m
Pituus	8,22 m	8,4 m
Korkeus	2,1 m	2,3 m
Tyhjäpaino	512 kg	570 kg
Maksimi lentoonlähtöpaino	1020 kg	1250 kg

Taulukko 4: Mitat ja painot

Vertailtavien koneiden ulkoiset mitat ovat melko yhtäläiset. Heron-1 on hieman suurempi ulkoisilta mitoiltaan. Sen suurempi korkeus johtuu siitä, että koneen sivuvakaajat ovat kuten normaalisti eli ylöspäin. Predator MQ-1B:ssä yhdistetty korkeus- ja sivuvakaaja ovat normaalisti poiketen maata kohti. Koneiden tyhjäpainot poikkeavat kokoluokassaan melko vähän – vain 58 kg. Maksimi lentoonlähdpaino on Heron-1:ssä selvästi suurempi kuin Predator MQ-1B:ssä.

	<b>MQ-1B</b>	<b>Heron-1</b>
<b>Voimalähde</b>		
Moottori	Rotax 914 (115 hp)	Rotax 914 (115 hp)
Polttoainekapasiteetti	270 kg	400 kg
Laskeutumismatka	1500 m	1200 m
Lentoonlähdomatka	267 m	350 m
Polttoaine	AVGAS (100LL)	AVGAS (100LL)

Taulukko 5: Voimanlähde, kiitotien mitat

Verrattavien UAV:iden moottorit ovat saman valmistajan samaa mallia. Tutkimusmetodologiaosuudessa kerrotaan, että mikäli vertailtavissa kohteissa on joku sama ominaisuus, voidaan ko. ominaisuus jättää käsittelemättä. Moottoreista mainitaan vain ominaisuustaulukoissa, joten Rotax 914 moottorin ominaisuuksia käsitellään tässä kohtaa. Rotax 914 on nelitahtinen, nelisylinterinen nestejäähdytteinen ilmailumoottori, jossa on yksivaiheinen Garretin turboahdin. Koneissa oleva moottori kykenee lentoonlähdoissä ja nousujen aikana antamaan 115 hevosvoiman tehon maksimissaan viiden minuutin ajan. Maksimi yhtäjaksoinen teho alle 15 000 ft:n korkeudessa on 100 hevosvoimaa.

Predator MQ-1B tarvitsee laskeutumista varten 300 m pidemmän kiitotien kuin Heron-1. Lentoonlähdomään liittyen Predator MQ-1B selviää noin 100 metriä lyhyemmällä kiitotiellä.

	<b>MQ-1B</b>	<b>Heron-1</b>
<b>Suoritusarvoja</b>		
Maksimi lentonopeus	117 kt	120 kt
Sakkausnopeus	54 kt	59 kt
Matkalentonopeus	70 – 90 kt	62 – 90 kt
Maksimi toiminta-aika	~24 h	50 h
Maksimi kantama	150 nm / BLOS	135 nm / BLOS
Lakikorkeus	25 000 ft	30 000 ft
Hyötykuorma	204 kg / ulkoinen 134 kg	250 kg

Taulukko 6: Järjestelmien keskeisiä suoritusarvoja



Maksimilentonopeudet eivät juuri poikkea vertailtavissa koneissa. Sakkausnopeuksissa on 5 kt:n ero Predatorin eduksi. Matkalentonopeudet, jotka UAS-järjestelmistä puhuttaessa voidaan mieltää helpommin tehtävänopeudeksi, ovat hyvin samankaltaiset. Heron-1:llä voidaan tarvittaessa lentää tehtäväosuutta lähempänä sakkausnopeutta kuin Predatorilla. Sakkausnopeuksia on saatavilla useita esimerkiksi erilaisille painoluokille, eri kallistuskulmille, eri laskusiivekeasetuksille ja kaikkien näiden variaatiolle. Taulukon 7 sakkausnopeudet ovat 0-asteen kallistukselle, maksimipainolle ja laskusiivekeasen nolle 0-astetta.

Toiminta-ajassa koneiden välillä on merkittävä ero. Heron-1 kykenee perusvarustuksessa noin vuorokauden pidempään toiminta-aikaan kuin Predator MQ-1B. Perusvarustus on LREO eli Laserpointer and Electro-optical Payload. Toiminta-ajan pituuden eroa kuvaa koneiden maksimi lentoonlättopainon ero sekä kuormattavan polttoainemäärän ero, joka Heron-1:ssä on selvästi suurempi kuin Predatorissa.

Heron-1 lakikorkeus on noin 5000 ft enemmän kuin Predator MQ-1B:n. Maksimikantamaan on olemassa molemmilla järjestelmillä useita variaatioita. Tutkimuksen maksimikantaman perusteeksi otettiin se, kuinka kauas UAV:lla pääsee, kun käytössä on vain yksi antenniyksikkö ilman releasemia. Predator MQ-1B:llä kantama on noin 15 nm pidempi kuin Heron-1:llä. Maksimikantaman kohdalla maininta BLOS (Beyond Line of Sight) tarkoittaa SATCOM:n käyttöä, jolloin koneiden käyttöetäisyyttä päätukikohdasta rajoittaa vain niiden toiminta-aika sekä edullisin matkalentonopeus.

### 3.2. Maakomponenttien vertailu

Tässä alaluvussa vertaillaan järjestelmän maakomponentteja. Yksityiskohtaiset tiedot antennien suorituskyvyistä on tutkimuksen liitteessä 1.

	<b>MQ-1B</b>	<b>Heron-1</b>
<b>Maakomponentit - GCS</b>		
Työasemat / miehistö	Työasemat: PPO1 ja 2, DEMPC, SAR	Työasemat: OPBY-L, OPBY-R, CEBY, UBY-1 ja 2
Kyky	Yksi GCS, yksi UAV	Yksi GCS, kaksi UAV:ta
Koko	9,9m x 2,64m x 2,64	4,4m x 2,2m x 2,2m
Kuljetus	Kolmiakselinen	Liikuteltava merikontti
	C-130 / erityiskäsittely	C-130

Taulukko 7: Ohjausasemien tiedot

Heronin minimimiehitys lennolla GCS:ssä on kaksi henkilöä – pilotti ja hyötykuorman käyttäjä. Sama minimivaatimus henkilöstön osalta on myös Predatorissa. Mikäli Predatorissa halutaan käyttää SAR-tutkaa, on minimimiehitys tällöin kolme henkilöä. Heronissa ei ole erillistä SAR-tutkalle tarkoitettua työasemaa.

Predator MQ-1B järjestelmä kykenee lentämään vain yhtä UAV:ta kerrallaan, kun taas Heron-1:llä kyetään lentämään kahta UAV:ta samaan aikaan. Heron järjestelmäkään ei kykene ohjamaan ja tuottamaan tietoa kahdelta UAV:lta samaan aikaan, vaan toinen kone toimii joko releasemana tai on ilmassa ns. 24/7 toiminnan edellyttämän koneenvaihto-operaation ajan.

Predatorin ohjausasema on rakennettu suurikokoiseen trailerin päällä olevaan konttiin. Heronin GCS on kooltaan huomattavasti Predatorin ohjausasemaa pienempi. Predatorin GCS:n suuren koon vuoksi sen liikuteltavuus esimerkiksi C-130 Hercules kuljetuskoneella vaatii erityisjärjestelyjä. Heron-1:n GCS:n mainostetaan mahtuvan Herculekseen ilman erityisjärjestelyjä.

GDT	UPL C-band ja UHF	UPL 2 x C- ja UHF
SATCOM	L3 K <sub>μ</sub> SDL - antenni 5.5m UAV:lle - antenni 2.4m johtamisjärjestelmille K <sub>μ</sub> -taajuus	ELK 1894 - 9.3 m pysyvä - 2.4m liikkuva K <sub>μ</sub> -taajuus

Taulukko 8: Antenniyksiköiden tietoja

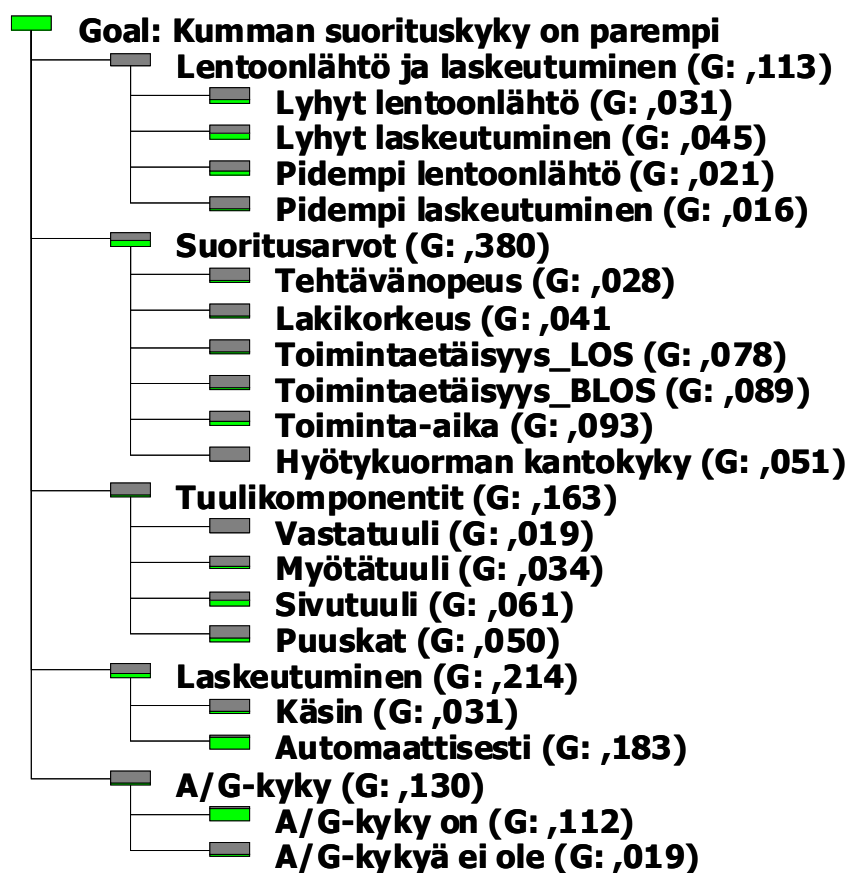
Järjestelmien LOS linkit ovat melko samankaltaisia. Tiedossa on, että Heron-1:ssä C-alueella toimivia uplinkkejä on kaksi kappaletta. Toinen linkeistä on ympärisäteilevällä antennilla toimiva, sen kantama on noin 5 – 8 nm GDT:stä. Toinen uplink on suunta-antennilla toimiva, sen kantama on järjestelmäspesifikaation maksimi eli noin 135 nm. Predator MQ-1B:sta ei samanlaista tietoa ole lähteissä saatavilla. Se kuitenkin on, että Predator MQ-1B:n LOS antenni toimii C-taajuusalueella.

Heron-1 järjestelmässä UHF-aluetta käytetään vain poikkeustilanteissa. UHF-alueelle ei ole GDT:ssä vastaanotinta. Predatorin UHF-taajuusalueen käyttöperiaatteista ei lähteissä ollut tietoa saatavilla.

Järjestelmien SATCOM:it toimivat K<sub>μ</sub>-taajuusalueella. Satelliittiyhteyksien antennilla on eritehtäviä. Heronissa antennit jaotellaan pysyviin ja liikkuviin antenneihin, kun taas Predatorissa on UAV:n kanssa kommunikoiva sekä johtamisjärjestelmien kanssa kommunikoiva antenni.

### 3.3. Suorituskykyjen vertailu

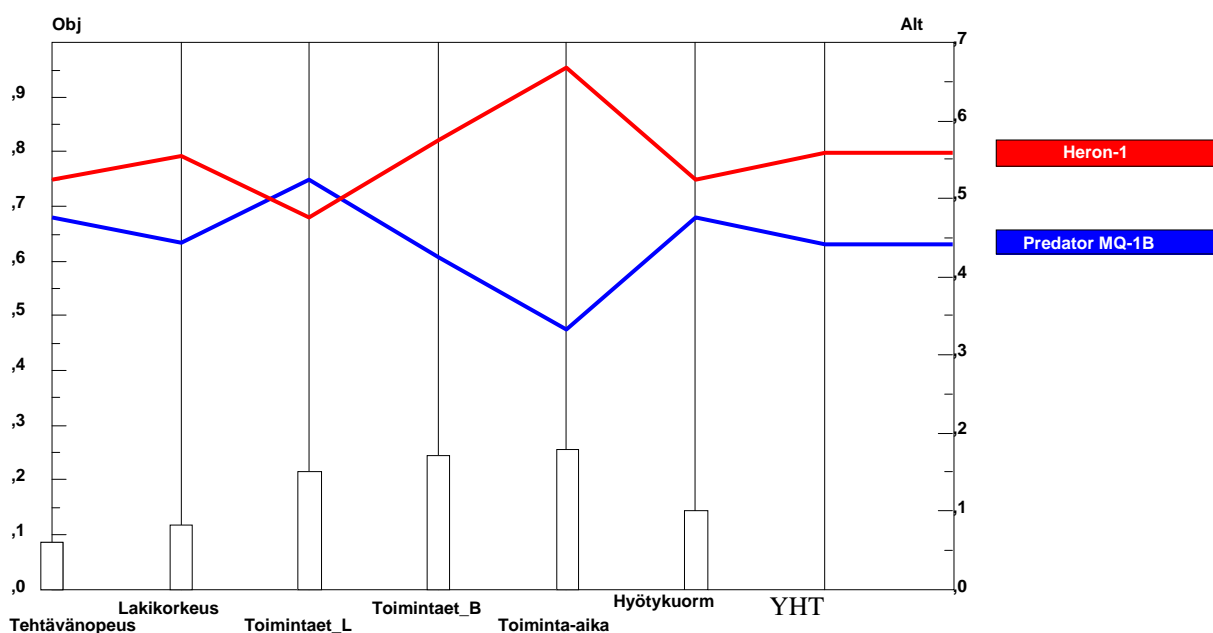
Suorituskykyjä vertailtiin analyttisen hierarkiaprosessin menetelmällä. Tutkija määritteli vertailtavat osa-alueet ja UAS-alan asiantuntijaraati Tykistöprikaatista määritteli suorituskyvyille painokertoimet. Asiantuntijaraati ei tiennyt etukäteen mitä miehittämättömiä järjestelmiä tutkimuksessa vertaillaan. Ainoa tieto raadilla oli, että kyseessä on MALE-luokkaan kuuluvat järjestelmät. Painokertoimet muodostuivat kuvan 8 kaltaisiksi. Päämäärän on selvittää, kumpi järjestelmistä on parivertailun perusteella parempi (kuvan 8 ”Goal”). Suorituskykyjä vertailtiin lentoonlähden- ja laskeutumisen, suoritusarvojen, tuulikomponenttien, laskeutumisen ja A/G-kyvyn osalta. Jokainen suorituskyky sisältää painotettuja alakohtia, jotka ovat näkyvissä kuvassa 8. Asiantuntijaraati antoi suurimman painoarvon UAS-järjestelmien suoritusarvoille, jotka koostuvat tehtävänopeudesta, lakikorkeudesta, toimintaetäisyydestä LOS ja BLOS, toiminta-ajasta sekä hyötykuorman kantokyvystä. Toiseksi eniten raati painotti laskeutumismenetelmää ja kolmanneksi eniten lentoonlähtoon ja laskeutumiseen vaikuttavaa tuulikomponenttia. Suoritusarvojen sisäisistä painotuksista toiminta-aika nousi tärkeimmäksi tekijäksi.



Kuva 8: Expert Choice –ohjelmistolla määritetyt painokertoimet.

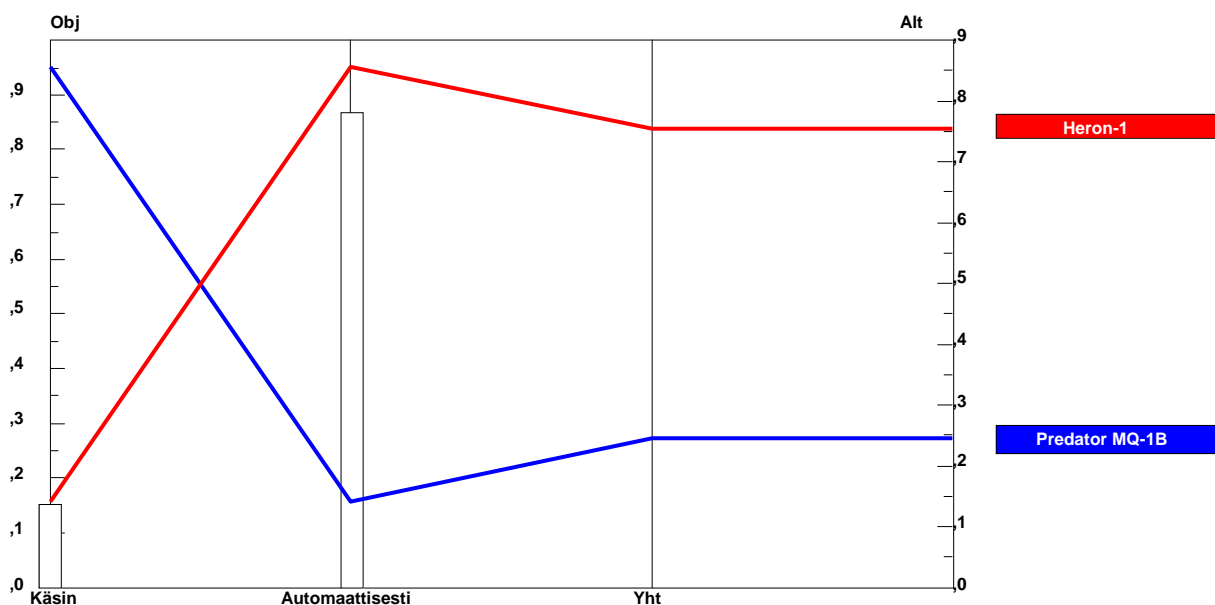
Heikoimmat painotukset saivat A/G (Air to Ground) kyvyn olemassaolo sekä lentoonlähtöön ja laskeutumiseen liittyvät kiitoteiden pituus- ja leveysvaatimukset.

Painotusten muodostamisen jälkeen tutkija syöti Expert Choice -ohjelmaan vertailtaville järjestelmille kutakin vertailtavaa suorituskkyä vastaavan prosentuaalisen eron. Esimerkiksi kun Heron-1:n lakikorkeus on 30 000 ft ja Predator MQ-1B:n lakikorkeus 25 000 ft eroksi tulee 16,6% Heron-1:n eduksi.



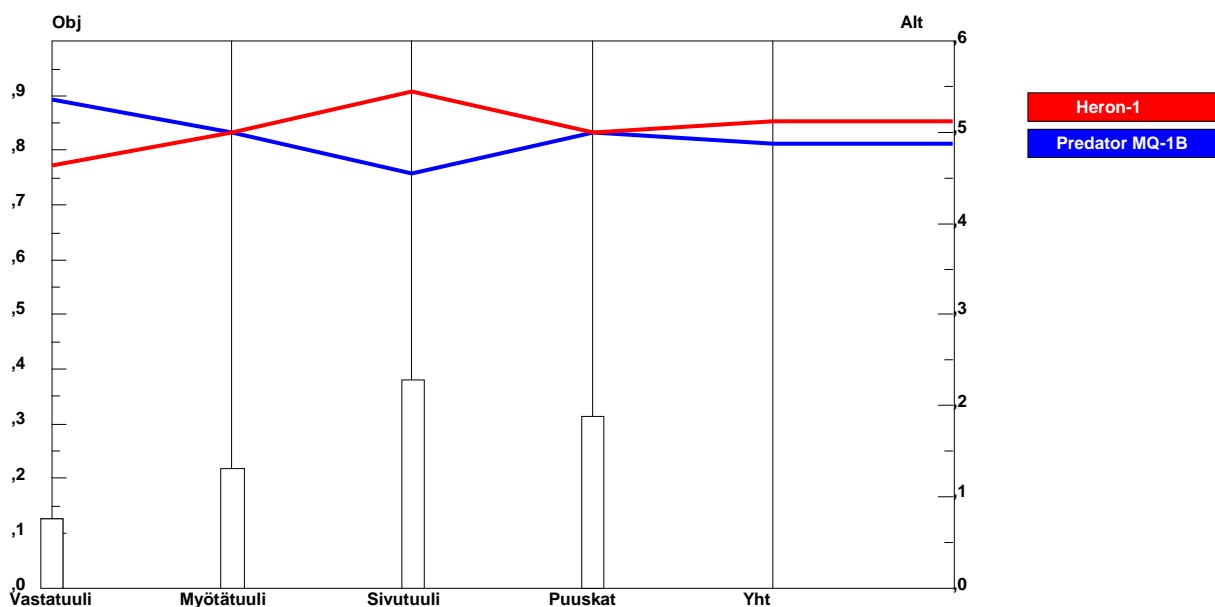
Kuva 9: Expert Choice – Suoritusarvojen vertailu

Kuvasta 9 käy ilmi painotetut suoritusarvot verrattuna Heron-1:n ja Predator MQ-1B:n suorituskkyyn. Heron-1:llä on hieman suurempi tehtävänopeusalue ja selvästi suurempi lakikorkeus kuin Predator MQ-1B:llä. Predatorin suoritusarvojen mukaan sen LOS kyky on Heron-1 järjestelmää suurempi. Heron-1:n toimintaetäisyys BLOS eli SATCOM-yhteyttä käytettäessä on suurempi kuin verrokillaan. Toiminta-aika, jonka painokerroin on kuvan mukaan suurin, on Heron-1:llä puolta (n.50h) suurempi kuin Predatorilla (n. 24h). Hyötykuorman kantokyvyssä ero on kilogrammoissa melko pieni, silti se näkyy taulukossa selkeänä erona Heron-1:n hyväksi. Suoritusarvojen kokonaispainotus on Heronin eduksi 55,9%, kun Predator MQ-1 painotus jää 44,1%:iin.



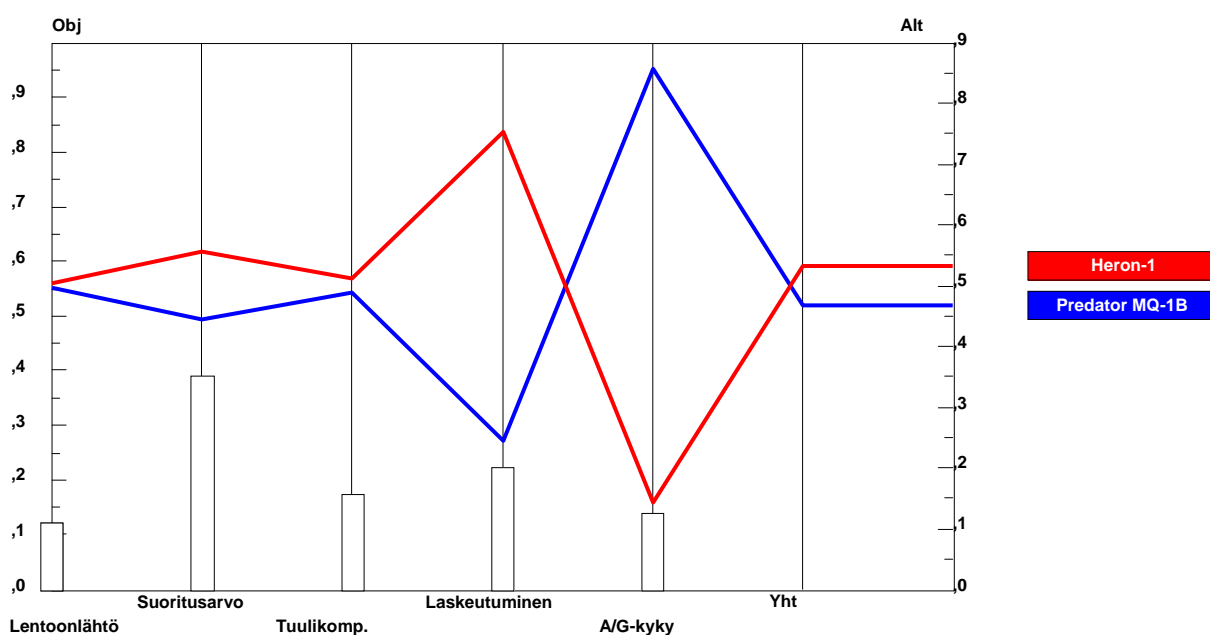
Kuva 10: Expert Choice – Laskeutumismenetelmät

Kuvassa 10 on näkyvissä laskeutumismenetelmiin liittyvät painotukset. Raati painottaa, että järjestelmän on kyettävä laskeutumaan automaattisesti, toisin sanoen turvallisesti automatiikan avulla. Heron-1:n päälaskeutumismenetelmä on DGPS:ään perustuvan joksään tarkka automaattinen laskeutumisjärjestelmä. Predator MQ-1B voidaan tuoda loppulähestymislinjalle tiettyyn pisteeseen automatiikalla, jonka jälkeen laskeutumisen viimeiset vaiheet tehdään GSC:stä käsin ohjaamalla. Heronin suorituskkyky painotusten suhteen on selvästi parempi kuin Predatorilla. Kokonaispainotus Heron-1 eduksi on 75,5% Predatorin saadessa vain 24,5%.



Kuva 11: Expert Choice – tuulikomponentit

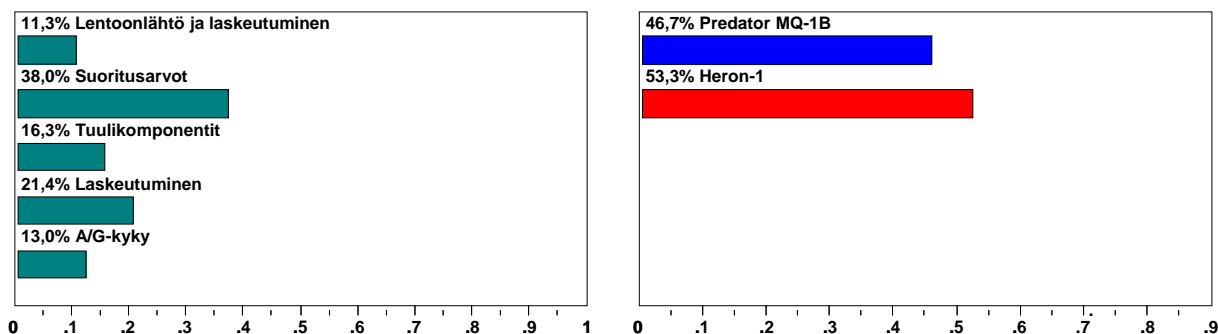
Maksimi vastatuulikomponentti on Heron-1:llä 25 kt, kun se Predatorilla on 30 kt. Vastatuulikomponentti tarkoittaa sitä, että tuuli on täsmälleen lentolähtökiitotien suuntainen, jolloin tuulen voimakkuus saa olla maksimissaan esimerkiksi Predator MQ-1B:llä lennettäessä 30 kt. Sivutuulikomponentin on kuitenkin painotettu tärkeimmäksi tuulensietokyvyksi raadin toimesta, jolloin painokertoimesta kuvan 11 mukaan lähes 40% on painotettu sivutuulen toleranssille. Heron-1:n sivutuulen sietokyky on 4 kt suurempi kuin Predatorilla. Predator MQ-1B:n myötätuulikomponenttia ei ollut mistään lähteestä saatavilla, joten sen suorituskykykerroin on molemmilla järjestelmillä sama – näin ollen myötätuulen osalta ei eroja ole olemassa. Tuulen puuskaisuuden sietokyky on molemmilla järjestelmillä sama 10 kt, joten eroa ei taulukossa ole.



Kuva 12: Expert Choice – lopputulos.

Kuvassa 12 on näkyvissä parivertailuohjelmiston avulla suoritettujen painotettujen laskennan lopputulokset. Lentoönlähtöön liittyvässä vertailussa erot ovat hyvin pieniä, lisäksi asiantuntijaraati ei painottanut lentoönlähtöä ja -laskeutumismatkaa kovinkaan paljoa. Suoritusarvot olivat raadin mielestä tärkein järjestelmän osa-alue. Painotusten jälkeen suoritusarvoissa Heron-1 päihittää Predator MQ-1B:n selvästi. Tuulen vaikutus lentoönlähtöön ja laskeutumiseen tuo Heron-1:lle hienoisen edun. Laskeutumiseen liittyvä täysautomaatiikka painottuu Heron-1:n eduksi hyvin selvästi – Predator MQ-1B:ssä ei laskeutumiseen liittyvää automaatiikkaa ole. Ilmasta maahan kyky Predatorissa on ja Heronissa ei.

Expert Choicella suoritettujen parivertailun lopputuloksena voidaan todeta, että Heron-1:n suorituskyky on parempi kuin Predator MQ-1B:n.



Kuva 13: Expert Choice – lopputulos prosentteina

Annetuista painokertoimista Heron-1 saa kaikkiaan 53,3% ja Predator 46,7%.

## 4. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 4.1. Analyysi vertailluista järjestelmistä

Heron-1 Machazt päihittää Predator MQ-1B:n suoritusarvojen osalta selvästi. Kaksinkertainen toiminta-aika mahdollistaa järjestelmälle huomattavan paljon erilaisia toimintavaihtoehtoja. Pitkän toiminta-ajan puitteissa samalla nopeusalueella kuin Predator MQ-1B, Heron-1:llä voidaan mennä kauemmas ja korkeammalla. Ylimääräisen korkeuden tuomia etuja ovat mm. vähäisempi moottorin ääni maahan, huono visuaalinen havaittavuus, joidenkin ilmatorjunta-aseiden kantaman yläpuolella lentäminen sekä pidempi liitomatka häiriötilanteessa.

Automaattinen laskeutumisjärjestelmä luo Heron-1:lle lentoturvallisuutta sekä merkittävää suorituskykyä. Predator MQ-1B:n käsiohjaus on sen sijaan aiheuttanut ongelmia laskeutumisessa. Lisäksi alaspäin osoittava yhdistetty korkeus- ja sivuvakaaja on muutamassa tapauksessa koskettanut kiitotietä kohtalokkain seurauksin. Lisäksi Predatorille on sattunut useita inhimillisistä erehdyksistä johtuneita onnettomuuksia laskeutumisessa. DGPS mahdollistaa Heron-1:lle erittäin huonot sääolosuhteet (nollanäkyvyys) lentoönlähtöön ja laskeutumiseen liittyen [13]. Predatorin seuraavassa kehitysversiona MQ-1C (Predator Gray Eagle) automaattinen laskeutumisjärjestelmä on jo olemassa. MQ-1B versioon automaattista laskeutumisjärjestelmää ei tulla toistaiseksi asentamaan.

Predator MQ-1B järjestelmään integroidut SATCOM tiedonvälitys- ja johtamisjärjestelmät vaikuttavat laajemmalla kuin Heron-1:n vastaavat tiedot. Predatorin käyttö CONUS ja OCONUS –tehtävissä on suunniteltu lähteiden mukaan hyvin huolellisesti kattamaan tiedon siirron eri maanosissa. Kuten aiemmin on mainittu, Predatorilla operoidaan esimerkiksi Afganistanissa siten, että UAV:n lentoonlähtö- ja laskupaikka sijaitsevat OCONUS alueella ja varsinainen 16 – 24 tunnin tehtävä suoritetaan Kaliforniasta Nellisin ilmavoimien tukikohdasta. Sama kyky on periaatteessa myös Heronilla, mutta lähteen mukaan esimerkiksi Saksan ilmavoimat operoivat Heroneita Afganistanista käsin.

Ilmasta maahan suorituskky ei tutkimuksen aikana noussut kynnyskysymykseksi. Molemmissa järjestelmissä on kyky maalinosoitukseen laservalaisulla. Predator MQ-1B kykenee omalla MST-A järjestelmällään ampumaan Hellfire panssarintorjuntaohjuksen itse valaisemaansa maaliin. Heron-1 kykenee valaisemaan maalin, mutta ilmasta maahan kykyä sillä ei ole.

Tehty vertailu osoittaa kriteerien mukaisesti Heron-1 paremmuuden, mutta lopputuloksen erot ovat kuitenkin melko pienet.

#### 4.2.Järjestelmien sopivuus suomalaisiin olosuhteisiin

Suomen Puolustusvoimilla ei ole toistaiseksi käytössään MALE-luokan operatiivista UAS-järjestelmää, joten em. järjestelmällä ei ole olemassa käyttöperiaatteitakaan. Suomessa on erittäin hyvä tukikohtaverkosto MALE-luokan järjestelmille. Järjestelmille riittää noin 1500 m pitkä ja 30 m leveä päällystetty kiitotie. Suomessa on ainakin 24 kyseiset mitat täyttävää valvottua lentokenttää – eli lentokenttä, jossa on joko lennonjohto- tai lennontiedotuspalvelu. Lisäksi Suomessa on viisi valvomatonta korpikenttää, joissa on kiitotievaatimukset täyttävät kriteerit.

MALE-luokan järjestelmillä operointi vaatii käyttäjältään lähes täydellisen ilmaherruuden. Järjestelmistä puuttuu ilmasta ilmaan suorituskky. Samoin ilmasta ilmaan tilannekuva ei ole paras mahdollinen, koska järjestelmien hyötykuormat kuvaavat koko ajan maata kohti. Heron-1:stä ja Predator MQ-1B:tä käyttävät valtiot operoivat järjestelmillä kriisialueille, joilla heillä on vahva kontrolli ilmatilasta. Lisäksi ko. valtioilla on hyvä kyky kontrolloida ja tarvittaessa lamauttaa kriisialueen ilmatorjuntajärjestelmät, joten pelikenttä UAS-järjestelmille on vapaa. Käyttäjävaltion alueella järjestelmiä käytetään yleensä raja- ja merialueiden valvontaan sekä yhteiskunnan tarpeisiin (rikoksen torjunta, huumausaineiden salakuljetuksen valvonta, luonnonkatastrofit, metsäpalojen valvonta).



#### 4.2.1. Sääolosuhteet

Vuodenaikojen vaihtelun vuoksi sääolosuhteetkin ovat Suomessa hyvin vaihtelevia. Säätila muodostuu samanaikaisesti monista eri tekijöistä kuten lämpötilasta, pilvistä, sateesta, ilman kosteudesta, ilmanliikkeestä eli tuulesta sekä auringon säteilystä. Sääolosuhteet ovat miehitämättömälle ilmailulle joissakin tapauksissa niin voimakkaita, että ne vaikeuttavat lentotiedustelutehtävän toteuttamista.

Tutkimuksessa vertailtujen järjestelmien tuulikomponentit ovat pääsääntöisesti hyvät. Ainoa tekijä, joka heikentää järjestelmien käytettävyyttä suomalaisissa olosuhteissa on tuulen puuskaisuuden sieto. Mikäli tuuli poikkeaa kahden minuutin keskiarvotuulesta yli 10 kt, puhutaan sotilasilmailun sääntulkintaohjeen määrittelemästä tuulenpuuskasta. Kesällä aurinkoisena päivänä keskipäivän aikaan tuleen voimakkuus yleensä kasvaa ja tuuli muuttuu helposti puuskaiseksi, kun lämmin ilma pyrkii maasta ylöspäin. Tuulen suunnan vaikutus lentoonläh- töön ja laskeutumiseen on pieni, koska sekä Heron-1 että Predator MQ-1B rullataan maata pitkin tuulen kannalta sopivimmalle kiitotielle. Pyörillä lentoonlähdön tekevä järjestelmä ei aiheuta viivettä tehtävään lähtöön äkillisen tuulensuunnan muutoksen vuoksi, toisin kuin vaikkapa katapultilla laukaistavilla järjestelmillä.

Aikaisemminkin on todettu, että Heron-1:n DGPS avusteinen tarkka ja automaattinen laskeutumisjärjestelmä sietää erittäin huonoja vaakanäkyvyyksiä ja alhaista pilvikorkeutta. Predator MQ-1:n säävaatimukset ovat tiukemmat käsin tehtävän laskeutumisen vuoksi. Jäätävät olo- suhteet ovat Heron-1:lle kiellettyjä. Jään kertyminen siipiin rikkoo siipiprofiilin suorituskykyä siten, että esimerkiksi koneen sakkausnopeus suurenee merkittävästi. Ratkaisu jäänestoon lennolla olisi lennonaikainen jäänpoisto. Predator MQ-1B:ssä on olemassa siiven jäänpois- toon oma järjestelmä, jossa siiven sisältä ruiskutetaan jäänpoistoainetta (glykolia) siiven pin- nalle. Jäätäviä olosuhteita esiintyy yleensä juuri pilven sisällä kaikkina vuodenaikoina. Pilven jäätävyys on meteorologisesti ennustettavissa, joten jäätäviä olosuhteita voidaan joissain mää- rin välttää.

Pilvisyys itsessään ei ole este vertailtavien järjestelmien kameroiden suorituskyvylle. Kun päivä- ja infrapunakameran suorituskyky loppuu pilvisyyden vuoksi, niin UAV:issa on käy- tössä SAR-tutka, jolle pilvisyys ei ole este. Liitteessä 3 on esimerkki Heron-1:n ja Predator MQ-1B:n SAR-tutkan tuottamasta kuvasta.

Järjestelmien operointilämpötiloja ei ollut saatavilla. Järjestelmille kuitenkin määritetään operointilämpötilat  $\pm x \text{ } ^\circ\text{C}$ . Minimilämpötilan on järjestelmillä oltava joka tapauksessa alle  $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$ , koska yleisesti lämpötila laskee noin  $2 \text{ } ^\circ\text{C} / 1000 \text{ ft}$ . Näin ollen 25 000 ft korkeudessa on säännön mukaan noin  $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$  pakkasta ja 30 000 ft:ssä noin  $-60 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Maksimilämpötila maassa vaikuttaa elektroniikkajärjestelmien kuumentumiseen ja moottorin lämpenemiseen erityisesti lentoonlähden yhteydessä, jolloin moottorista ulosmitataan hetkellisesti täysi teho. Suomalaiset olosuhteet eivät välttämättä ole ongelma tutkimuksen järjestelmille, koska niitä käytetään valtioissa, joissa esimerkiksi maksimilämpötilat ovat paljon korkeampia kuin Suomessa.

Heikko vesi- tai lumisade ei ole este lennolle, varsinkaan jos UAV on pilvien yläpuolella. Molemmat järjestelmät sietävät vesisadetta ja niille on olemassa omat vaatimuksensa toimitaessa vesisateen aikana. Siiven pinnalla oleva vesi heikentää sen nostovoimaa, joten vesisateen aikana järjestelmillä on huolehdittava ohjekirjojen mukaisista nopeuksista. Predatorin kohdalla, kuten aiemmin on todettu, vesi- tai lumisade heikentää näkyvyyttä lentoonlähden ja laskeutumisen aikana – tämä vaikuttaa Predatorin suorituskykyyn heikentävästi [15].

### 4.3.Loppusanat

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin kahden UAS-järjestelmän suoritusarvoihin ja spesifikaatioihin vaikka järjestelmiä on maailmalla käytössä useampiakin. Tutkimuksen rajaus oli kuitenkin tehtävä kahteen useilla mailla käytössä olevaan järjestelmään, muutoin tutkimuksesta olisi tullut erittäin laaja.

Tiedon keruu järjestelmistä oli haasteellista. Materiaalia ei ollut saatavilla kirjastoista ja kauppojen hyllyiltä. Tässä tutkimuksessa avainlähteiksi muodostuivat muutamat sähköpostin välityksellä tehdyt kyselyt ja niihin saadut vastaukset. Predator MQ-1:stä on saatavilla tietoa valtavasti internetistä, mutta Heron-1:stä ei tietoa internetissä ole juuri lainkaan. Tietoa oli kuitenkin käytettävissä niin paljon, että perusteet hyvälle parivertailulle olivat olemassa. Vertailemalla ja painokertoimia luomalla sekä parivertailuun tarkoitettua ohjelmistoa käyttämällä tutkimuksen pääkysymyksen sekä alakysymyksiin kyettiin vastaamaan.

Tutkimuksessa verratuista järjestelmistä Heron-1 on suorituskykyisempi UAS-järjestelmä kuin Predator MQ-1B. Jatkotutkimuksessa olisi mahdollista perehtyä syvällisemmin niiden hyötykuormien tyyppeihin, vaihtoehtoihin sekä niiden tuottamiin mahdollisuuksiin. General Atomics ja Israel Aerospace Industries ovat molemmat valmistaneet tämän tutkimuksen järjestelmille ns. isovelijärjestelmät, jotka kuuluvat HALE-luokkaan (High Altitude, Long Endurance). General Atomicsin tuote on aktiivisessa käytössä oleva MQ-9 Reaper eli niin kutsuttu Predator B. Israel Aerospace Industries taas valmistaa Heron TP –nimistä järjestelmää. Edellä mainittujen koneiden lakikorkeudet ovat noin 60 000 ft:n korkeudessa, hyötykuorman kantokyky on noin 2 000 kg sekä molemmissa on potkuriturbiinimoottorit maksimi lentoonlähtöpainon ollessa lähes 5000 kg.

## LÄHTEET

- [1] Defence Industry Daily internet julkaisu,  
<[http://media.defenseindustrydaily.com/images/AIR\\_MQ-1\\_Predator\\_GCS\\_Balad\\_Air\\_Base\\_Iraq\\_lg.jpg](http://media.defenseindustrydaily.com/images/AIR_MQ-1_Predator_GCS_Balad_Air_Base_Iraq_lg.jpg)>, 4.1.2012
- [2] Department of Defence. Dictionary of Military and Associated Terms. Joint Publication 1-02. 8.11.2011. <[http://www.dtic.mil/doctrine/new\\_pubs/jp1\\_02.pdf](http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp1_02.pdf)>, 3.3.2012.
- [3] Dr. Arjomandi Maziar. Classification of unmanned aerial vehicles. <[personal.mecheng.adelaide.edu.au/~group9.pdf](http://personal.mecheng.adelaide.edu.au/~group9.pdf)>, 27.11.2011
- [4] Evi Jan Smekal German Air Force ja herra Avner Meir Israel Aerospace Industries. Haastattelukysymyksiä sähköpostitse. Sähköpostit tutkijan hallussa.
- [5] General Atomics Aeronautical. MQ-1 Persistent ISR and strike –esite. <[http://www.gaaasi.com/products/aircraft/pdf/MQ-1\\_Predator.pdf](http://www.gaaasi.com/products/aircraft/pdf/MQ-1_Predator.pdf)>, 28.12.2011
- [6] Global Security, kaupallinen internet aikakausjulkaisu.  
<<http://www.globalsecurity.org/intell/systems/predator.htm>>, 19.1.2012
- [7] Ilmailuteollisuuden ja lentotekniikan ohjelman (ILO) perusteet. Suomen Puolustus- ja Ilmailuteollisuusyhdistys ry (PIA) ilmailuryhmä, 23.5.2008.
- [8] International Civil Aviation Organization, ICAO, Annex 5. Units of measurement to be used in air and ground operations. Fourth edition, 22.6.2004.
- [9] Israel Aerospace Industries. Kotisivu. <[http://www.iai.co.il/34404-37386-en/BusinessAreas\\_UnmannedAirSystems\\_AdvancedGroundControlSystems.aspx?bt1=1](http://www.iai.co.il/34404-37386-en/BusinessAreas_UnmannedAirSystems_AdvancedGroundControlSystems.aspx?bt1=1)>, 4.1.2012
- [10] Jane's Defence  
<[https://www.milnet.fi/www8.janes.com/JDIC/JDET/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/juav/juav0725.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=pioneer%20uav&backPath=http://jdet.janes.com/JDIC/JDET/search&Prod\\_Name=JUAV&activeNav=http://www8.janes.com/JDIC/JDET](https://www.milnet.fi/www8.janes.com/JDIC/JDET/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/juav/juav0725.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=pioneer%20uav&backPath=http://jdet.janes.com/JDIC/JDET/search&Prod_Name=JUAV&activeNav=http://www8.janes.com/JDIC/JDET)>, 15.10.2011.
- [11] Jyri Kosola, Tero Solante. Digitaalinen taistelukenttä. Informaatioajan sotakoneen tekniikka. Julkaisusarja. Tutkimuksia, N:o: 13. MPKK, Tekniikan laitos. Helsinki 2003.
- [12] Lamartin, Glenn F. - Yhdysvaltain puolustusministeriön asiakirja “Designating and Naming Military Aerospace Vehicles” <<http://dod->

executiveagent.osd.mil/agentListView.aspx?ID=22, US Department of Defence, Model Designation of Military Aerospace Vehicles>, 2004.

- [13] Maj Froesner Christopher P. UAS Flight Safety – artikkeli.  
<[http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0IBT/is\\_1-2\\_62/ai\\_n16372773/?tag=content;col1](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0IBT/is_1-2_62/ai_n16372773/?tag=content;col1)>, 3.3.2012
- [14] Maj Jones, Cristoffer A. Unmanned Aerial Vehicles an assessment of historical operations and future possibilities. <<http://www.fas.org/irp/program/collect/docs/97-0230D.pdf>>, 29.12.2011
- [15] MQ-1-Operations Procedures. Flying Operations. Department of The Air Force. Air Force Instructions 11-2MQ-1. 29.11.2007. <<http://www.e-publishing.af.mil/shared/media/epubs/AFI11-2MQ-1V3.pdf>>, 3.3.2012.
- [16] Northrop Grumman kotisivu. <<http://www.es.northropgrumman.com/solutions/ln100g-inertial-navigation-system/assets/ln100g.pdf>>, 1.3.2012.
- [17] Official web site of the U.S Airforce.  
<<http://www.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?fsID=122>>, 28.12.2011
- [18] Rosenberg Zach. Flight International aikakauslehti 14-20.2.2012.  
<http://www.emagazine.flightinternational.com/1W4f34ef330ca49012.cde/page/65>, 1.3.2012
- [19] Routio Pentti. Tuote ja tieto – tuotteiden tutkimus ja kehittäminen.Virtuaaliyliopisto.  
<<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/f00.htm>>, 27.12.2011
- [20] Routio Pentti. Tuote ja tieto – tuotteiden tutkimus ja kehittäminen.Virtuaaliyliopisto.  
<<http://www2.uiah.fi/projekti/metodi/072.htm>>, 17.11.2011
- [21] Shaughnessy Larry, CNN news, <[http://articles.cnn.com/2011-03-20/world/libya.planes\\_1\\_stealth-bombers-warplanes-air-force-b-2?\\_s=PM:WORLD](http://articles.cnn.com/2011-03-20/world/libya.planes_1_stealth-bombers-warplanes-air-force-b-2?_s=PM:WORLD)>, 17.11.2011.
- [22] Stegherr Laura, UAV DET launches final Pioneer flight.  
<[http://www.navy.mil/search/display.asp?story\\_id=32916](http://www.navy.mil/search/display.asp?story_id=32916)>, 17.11.2011.
- [23] Suomen Ilmailuliitto, PPL Lentäjän käsikirja 1/2001  
<[http://www.ilmailuliitto.fi/fi/suomen\\_ilmailuliitto/materiaalipankki/lentajan\\_kasikirja](http://www.ilmailuliitto.fi/fi/suomen_ilmailuliitto/materiaalipankki/lentajan_kasikirja)>, 19.1.2012
- [24] UAS Yearbook (2010-2011) - UAS: The Global Perspective - 8th Edition - June 2010 - Copyright Blyenburgh & Co - sivut: 161/224.

- [25] van Blyenburg, Peter. Federating the international UAS Community. UAS ATM Integration Workshop EUROCONTROL Brussels, 2008.  
<[http://www.acrtucson.com/Presentations\\_n\\_Publications/pdf/6\\_UVS\\_International.pdf](http://www.acrtucson.com/Presentations_n_Publications/pdf/6_UVS_International.pdf)>,  
27.11.2011
- [26] Wikipedia, vapaa tietosanakirja. <[http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Atomics\\_MQ-1\\_Predator](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Atomics_MQ-1_Predator)>, 28.12.2011
- [27] Wikipedia, vapaa tietosanakirja. <[http://en.wikipedia.org/wiki/IAI\\_Heron](http://en.wikipedia.org/wiki/IAI_Heron)>, 29.12.2011.
- [28] Yhdysvaltain puolustusministeriö, Air Force Civil Engineer Support Agency, Engineering Technical Letter (ETL) 09-1: Airfield Planning and Design Criteria for Unmanned Aircraft Systems (UAS), <[http://www.wbdg.org/ccb/AF/AFETL/etl\\_09\\_1.pdf](http://www.wbdg.org/ccb/AF/AFETL/etl_09_1.pdf)>,  
28.9.2009.

## LIITTEET

- Liite 1 Predator MQ-1B GDT ominaisuudet – 2 sivua
- Liite 2 Heron-1 Machazt GDT ominaisuudet – 2 sivua
- Liite 3 Esimerkki Heron-1 ja Predator MQ-1B tuottamista SAR-kuvista – 2 sivua



# Ku-band SATCOM Data Link (KuSDL) Predator (MAE-UAV)

## Reconnaissance System(Block 1 Upgrade in Process, circa 2001)

The KuSDL utilizes commercial, geostationary satellites to effect full duplex SATCOM linking the Predator UAV to a remote control exploitation complex. The command link provides real-time control and data while the return link transfers real-time EO, IR or SAR motion video (VQ compressed) to the exploitation facilities.

SATCOM Airborne Terminals



II) Transponder lease(s) on appropriately positioned commercial, Ku-band geosynchronous satellites. Lease, revenue arrangements and spot beam locations all established long before mission initiation.

### PRODUCT DESCRIPTION

The Predator (MAE-UAV) Reconnaissance Communications System (w. ATC Radio) will include:

I) Predator UAV, fully equipped with sensors and ATC Radio and KuSDL, and LOS data link (within UAV operating range) of launching and maintenance facilities.

III) In-theater exploitation and control complex, including transportable satellite earth terminal (IESS -208, Type E2) with full duplex Ku-band receive and transmit capability. Complex would include exploitation capability and full connectivity to in-theater voice communications complex. Remote pilot (GCS) accomplishes ATC with authorities near flight-path via data links and onboard AN/ARC-210 radio.

### COMMON PARAMETERS TO ALL TERMINALS

#### Channel Format

- Forward: SS-QPSK; FEC (rate 1/2):1024 sym. intlv. depth (8.000 Mchip/sec. spread)
- Return: O-QPSK; FEC concatenated RS(247, 231); Intlv. 8 RS words; Conv. (1/2, 7)

#### Channel Bandwidth Req.

- Forward: Spread Spectrum command within 9 MHz allocation
- Return: Coded telemetry/ imagery within 5 MHz allocation

#### Information Rate

- Forward: 200 Kb/sec., including TBD reserve capacity
- Return: 2#T1(3200 Kb/sec.) composite TLM and imagery or T1 (1600 Kb/sec.)

640 North 2200 West  
P.O. Box 16850  
Salt Lake City, UT 84116  
Tel: 801-594-2242  
FAX: 801-594-3003  
www.L-3com.com/csw

Cleared by DoD/OFOISR for Public Release under 950S-3560/L on 3 October 1995



# SPECIFICATIONS

## Ku-band SATCOM Data Link (KuSDL)

### GROUND TERMINAL

#### Function

- Mission control and exploitation
- “Owner”
- Theater commander JFTC Control Description
- Local operators w/radio communications cmd

#### Controller(s)

- Theater commander via radio communications

#### EIRP

- Forward: <67dBW
- Return: N/A

#### G/T

- Forward: N/A
- Return: 30-31 dB/K

#### Carrier Frequency

- (125 KHz tuning in UAV term.)
- Forward: Tx: 14.0 ➔ 4.5 GHz
- Return: Rx: 10.95 ➔ 2.75 GHz

#### Transmit Power

- 125 Watts

#### Approximate aperture

- 5.5 m. to 6.2 m

#### Signal Format

- Command: RS-422 I/F, custom
- Telemetry: RS-422 I/F, custom
- Video (EO/IR): NTSC, analog
- Synthetic Aperture Radar (SAR): RS-422 I/F, 5 Mb/s par.

#### Microwave Sensing

- Display, exploitation console and data base

#### Optional Sensing

- Display, exploitation console and data base

#### Air Traffic Control

- Remote pilot

### SATELLITE TERMINAL

#### Function

- Bent-pipe relay

#### “Owner”

- Commercial agency e.g. INTELSAT, PANAMSAT

#### Control Description

- Radio remote: special channels from CC

#### Controller(s)

- Commercial agency

#### EIRP

- Forward: ~ 31 dBW
- Return: ~ 23 dBW

#### G/T

- Forward: 4.5 dBW
- Return: 4.5 dBW

#### Carrier Frequency

- Lease within terminal range

#### Transmit Power

- 35-50 Watts

#### Approximate aperture

- Existing, Sat. dependent

#### Signal Format

- Amplify and translate

#### Microwave Sensing

- n/a

#### Optional Sensing

- n/a

#### Air Traffic Control

- n/a

### UAV TERMINAL

#### Function

- Low-level earth resources collection

#### “Owner”

- Theater commander JFTC

#### Control Description

- Radio remote: direct or via satellite relay

#### Controller(s)

- Theater commander: Launch or Mission

#### EIRP

- Forward: N/A
- Return: <55.5 dBW

#### G/T

- Forward: 12 dB/K
- Return: N/A

#### Carrier Frequency

- (125 KHz tuning in UAV term.)
- Forward: Rx: 10.95 ➔ 12.75 GHz
- Return: Tx: 14.0 ➔ 14.5 GHz

#### Transmit Power

- 50 Watts

#### Approximate aperture

- 0.76 m. diameter (30")

#### Signal Format

- Command: RS-422 I/F, custom
- Telemetry: RS-422 I/F, custom
- Video (EO/IR): NTSC, analog
- Synthetic Aperture Radar (SAR): RS-422 I/F, 5 Mb/s par.

#### Microwave Sensing

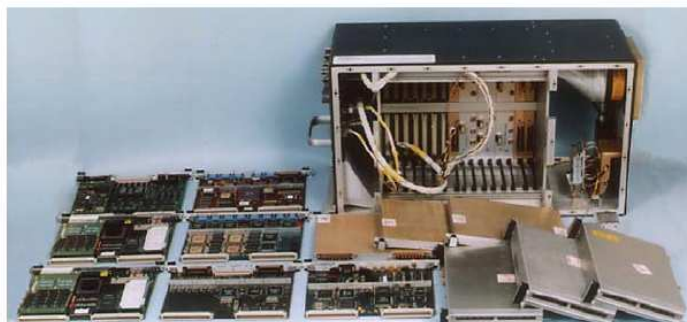
- WEC/Synthetic Aperture Radar (SAR) @ 16.4 GHz

#### Optional Sensing

- Versatron “Skyball” EO/IR - Analog video

#### Air Traffic Control

- AN/ARC-210 radio

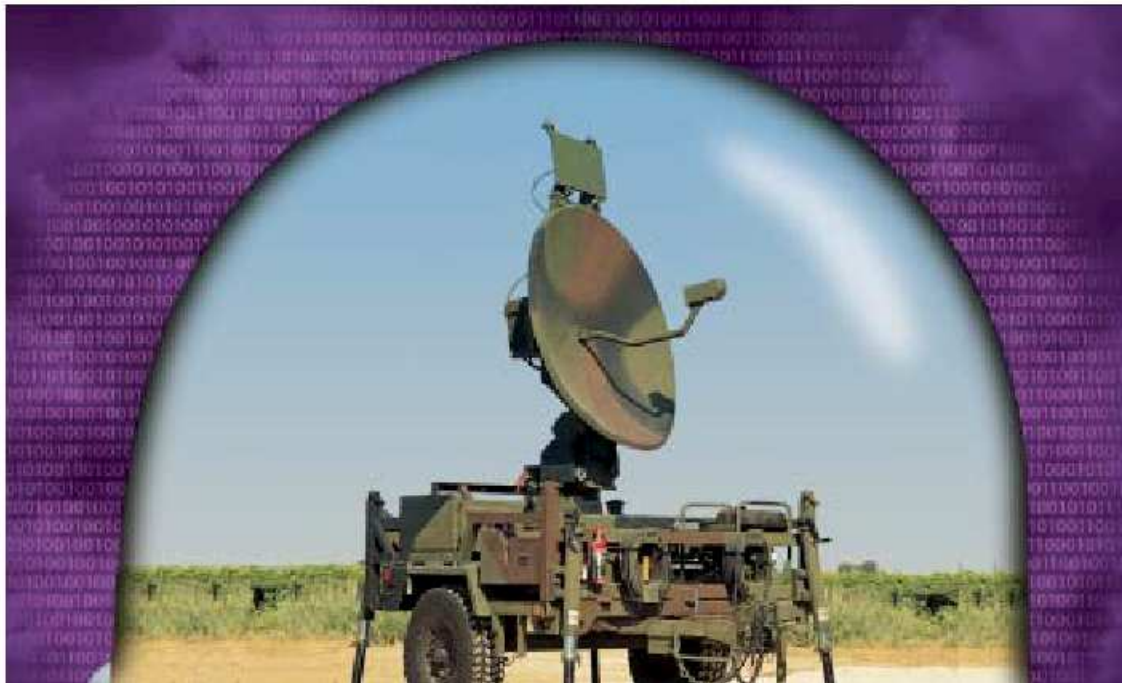


For further information on Predator contact:

*L-3 Communications  
Communication Systems - West  
640 North 2200 West  
P.O. Box 16850  
Salt Lake City, Utah 84116-0850  
Telephone: 801-594-2242  
Fax: 801-594-3003  
www.L-3com.com/csw*

Data contained within this document are summary in nature and subject to change at any time at L-3 Communications' discretion.

# GDT - Ground Data Terminal

**EL/K-1861**

## General

The GDT is a high performance mobile microwave communications terminal, designed to provide a data link interface between ground or shipboard command and control stations and airborne reconnaissance platforms.

## Configuration

The GDT implements a modular architecture, employing a set of standard interfaced building blocks.

The baseline GDT configuration may be customized, via user selected options, for a wide range of ground-to-air, or ship-to-air or ground-to-ground data link applications.

## Features

- Range exceeds 300 Km, LOS
- One-way or full-duplex communications
- Carry one, or a combination of the following:
  - Command or Telemetry data: up to 2 mb/s
  - Video: RS-170 or CCIR, B&W or Color
  - Data: from 64 Kbps up to 280 Mbps
  - Voice channel(s)
- Mobility: 2 ton trailer
- Self sustained electrical supply, AC/DC
- Backup Navigation: range & azimuth
- Fully remote controllable via RS-422 line
- BIT: on-line and off-line
- **Options:**
  - Fiber optic remote control, up to 5 Km
  - ECCM/LPI mode (SpSp)



## Description

### The Baseline GDT

The baseline GDT includes the following units:

**Antenna Assembly:** A directional, monopulse antenna, and an omnidirectional antenna with beamshape optimized for use at close range.

**RF-Box:** Located on the back-side of the antenna, the RF-box accommodates all the transceiver and control functions of the GDT. Its location is selected to minimize the RF signal losses to the antennas.

**Antenna Positioner:** A heavy duty Azimuth/Elevation pedestal, enables manual or automatic positioning and track modes.

**Electrical System** (contains):

- Generator: 3 KVA, heavy fuel (or GFE)
- Electrical Panel: Accepts AC primary supply from the on-board generator, or external worldwide 110/230 Vac source.
- DC Power System: Includes 100 VA backup battery for uninterrupted power supply.

**Trailer Assembly:** 2 ton unit (may be GFE)

### Optional GDT equipment

**Backup link:** Provides an alternative, backup full duplex or uplink only communication channel with the airborne terminal, in UHF or EHF

**Spread Spectrum (SpSp) modem:** Enables protected uplink command (CM) and/or downlink data.

**Video Expansion Unit:** Part of the digital, compressed video downlink mode.

**Data Modem:** Allows receiving (and/or transmit) of phase-modulated digital data.

**Fiber Optic Communications System:** GDT remote control via one, or two (redundant) optical cables, up to 5 Km.

**Shipborne Installation:** Antenna stabilization under radome.

## Specifications

### RF Frequency:

Range: C, X, Ku Band.

Span: Up to 1,500 MHz (baseline: 600 MHz)

Tuning Step: 1 MHz, separate uplink and downlink

### Antenna, Directional:

C-Band: 6 ft; Cossec<sup>2</sup> EL; Monopulse AZ; 34 dBi.

X-Band: 7 ft; Monopulse AZ/EL; 44 dBi.

**Transmit Power:** 2 Watt baseline (options: 10 Watt or 20 Watt or 50 Watt)

### Transmit Data

#### Command (CM) Data Mode:

Data rate: Up to 200 Kbps (Baseline: 7.3 Kbps)

Modulation: FSK

#### Medium Rate Data Mode (option):

Data rate: Up to 50 Mbps (Standards: 1.544 Mbps or 2.048 Mbps or 8.448 Mbps or 10.71 Mbps)

Modulation: BPSK or QPSK

### Receive Modes

#### Video with Telemetry (TM/TV):

Telemetry: Up to 200 Kbps (Baseline: 7.3 Kbps)

Video: CCIR or RS-170, 1 Vptp

Modulation: FM + FSK Subcarrier

#### Telemetry Only (TM):

Telemetry: Up to 200 Kbps (Baseline: 7.3 Kbps)

Modulation: FSK

#### Medium Rate Data Mode (option):

Data rate: Up to 50 Mbps (Standards: 1.544 Mbps or 2.048 Mbps or 8.448 Mbps or 10.71 Mbps)

Modulation: BPSK or QPSK

Forward Error Correction: Viterbi 1/2, 3/4 or 7/8

### Signal Quality:

Video: S/N  $\geq$  18 dB @ rec. threshold,  $\geq$  45 dB typical

Data: BER  $\leq 10^{-5}$  @ rec. threshold,  $\leq 10^{-8}$  dB typical

### Navigation Function:

Range Accuracy: 200 m

Azimuth Accuracy: 2 mRad.

**Power Consumption:** 2.5 KW max, < 1 KW typical

### Transportability:

Towing Weight: 2 Ton (4,200 lb). max. (fits HMMWW)

Airlift: Comply with MIL-STD-209, rotary wing aircraft.

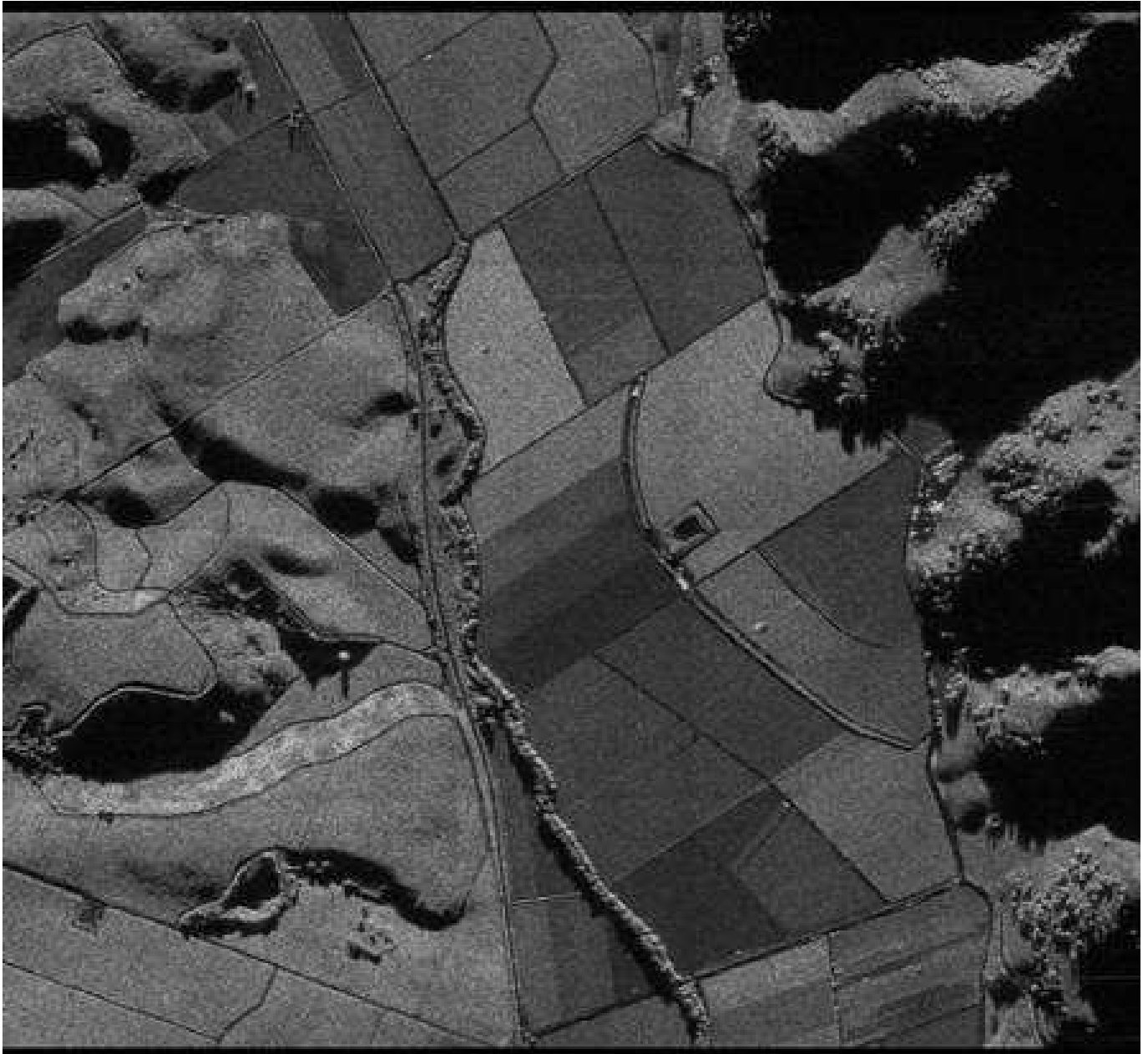
Aircargo: By C-130, C-141 or equivalent

**Environmental:** Complies with MIL-STD-810, applicable sections.

Kuvat ovat esimerkkejä siitä, kuinka SAR-tutkan omaavalla UAS-järjestelmällä kyetään tuottamaan kuvatietoa jos esimerkiksi pilvisyys estää päivä- ja lämpökameran käytön.

Heron-1 SAR-kuva

Lähde: Israel Aerospace Industries. UAV Exploration for Finnish AMC November 2009 – power point esitys (tutkijan hallussa)



Predator MQ-1B SAR-kuva

Lähde: Northrop Grumman kotisivu.

<<http://www.es.northropgrumman.com/solutions/starlite/assets/starlite7.jpg>>, 3.3.2012

